

**IN THE UNITED STATES PATENT & TRADEMARK OFFICE**

Re: Application of: Martin DAFERNER  
Serial No.: To Be Assigned  
Filed: Herewith as national phase of International Patent  
Application PCT/EP2003/010511, filed September 20,  
2003  
For: **PREDICTION OF THE DEGREE OF DELIVERY  
RELIABILITY IN SERIAL PRODUCTION**

Mail Stop: PCT  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

April 27, 2005


**LETTER RE: PRIORITY**

Sir:

Applicant hereby claims priority of German Patent Application Serial No. DE 102 50  
285.4 filed October 29, 2002 through International Patent Application Serial No.  
PCT/EP2003/010511, filed September 20, 2003.

Respectfully submitted,

DAVIDSON, DAVIDSON & KAPPEL, LLC

By   
William C. Gehris, Reg. No. 38,156

Davidson, Davidson & Kappel, LLC  
485 Seventh Avenue, 14th Floor  
New York, New York 10018  
(212) 736-1940

Rec'd PCT/PTO 27 APR 2005

PCT/EP 03 / 1 0 5 1 1

03. 12. 2003

**BUNDEREPUBLIK DEUTSCHLAND**



REC'D 23 JAN 2004	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 50 285.4

**Anmeldetag:** 29. Oktober 2002

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Vorhersage des Termintreuegrads in der Serien-  
fertigung

**IPC:** G 06 F 17/60

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-  
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 6. Oktober 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

DaimlerChrysler AG

Meyer-Gramann

23.10.2002

Vorhersage des Termintreuegrads in der Serienfertigung

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung von Auswirkungen, die Durchlaufzeit-Begrenzungen für Teilprozesse eines Fertigungsprozesses auf Qualitätsparameter des Fertigungsprozesses haben.

- Ein bevorzugtes Anwendungsgebiet der Erfindung ist die Serienfertigung von technischen Produkten, z. B. von Kraftfahrzeugen. Häufig wird ein Exemplar des technischen Produkts aufgrund eines Kundenauftrags gefertigt. Möglich ist, daß der Auftrag mehrere Exemplare umfaßt. Mit dem Kunden wird ein Auslieferungstermin als derjenige Termin, an dem ihm das von ihm beauftragte Exemplar des technischen Produkts zur Verfügung gestellt wird, vereinbart. Von diesem Auslieferungstermin wird ein Schlußabnahmetermin abgeleitet, an dem das Exemplar fertiggestellt ist. Dieser Schlußabnahmetermin hängt von der tatsächlichen Durchlaufzeit des Produkts durch den Serienfertigungs-Prozeß ab. Z. B. aufgrund von unterschiedlicher Qualität der Lieferteile und von Störungen und anderen unvorhergesehenen Ereignissen variiert die tatsächliche Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß auch bei der Serienfertigung. Daher kann es in der Praxis vorkommen, daß ein
- 15 Schlußabnahmetermin und damit ein Auslieferungstermin für ein bestimmtes Exemplar des technischen Produkts nicht eingehalten werden kann, weil die tatsächliche Durchlaufzeit länger

- als die dem vereinbarten Schlußabnahmetermine zugrundegelegte Soll-Durchlaufzeit ist. Diese Soll-Durchlaufzeit wird oft auch als die für einen Fertigungsprozeß maximal zulässige Durchlaufzeit bezeichnet. Mit Termintreue (delivery reliability, on-time delivery) wird die Einhaltung eines vorgegebenen Schlußabnahmetermins bezeichnet. Im folgenden wird ein Auftrag auch dann als termintreu abgearbeitet bezeichnet, wenn das Exemplar früher als vereinbart fertiggestellt wurde. Als Termintreuegrad wird der Anteil derjenigen Exemplare des technischen Produkts bezeichnet, deren tatsächliche Durchlaufzeit kleiner oder gleich einer vorgegebenen Soll-Durchlaufzeit ist und deren Schlußabnahmetermine daher eingehalten werden kann. Der Termintreuegrad wird im Stand der Technik manchmal auch als Produktionsliefertreue bezeichnet.
- 15 Ein Serienfertigungs-Prozeß umfaßt mehrere Teilprozesse, z. B. mehrere Gewerke einer Automobilfabrik. Die Durchlaufzeit durch den gesamten Fertigungsprozeß hängt von den Durchlaufzeiten durch die Teilprozesse ab. Bei der Festlegung von Maximal-Durchlaufzeiten für die Teilprozesse sind zwei unterschiedliche Ziele zu berücksichtigen:
- Ein möglichst großer Termintreuegrad soll erreicht werden. Denn zu spät ausgelieferte Exemplare des technischen Produkts können zu Vertragsstrafen führen.
  - Die durchschnittliche Lagerungs-Zeitspanne für Exemplare des technischen Produkts, die vor dem Schlußabnahmetermine fertiggestellt wurden, soll möglichst gering sein. Denn die Lagerhaltung bindet Kapital, erfordert Platz für die Exemplare und birgt das Risiko von Schäden an fertiggestellten Exemplaren während der Lagerhaltung. Genau zum Schlußabnahmetermine oder verspätet fertiggestellte Exemplare erfordern hingegen keine Lagerhaltung.

Die beiden Ziele stehen deshalb in Konflikt zueinander, weil der Termintreuegrad um so größer ist, je größer die Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß ist, die durch-

schnittliche Lagerungs-Zeitspanne jedoch um so geringer ist, je kleiner die Soll-Durchlaufzeit ist.

In US 6,259,959 B1 werden ein Verfahren und eine Vorrichtung beschrieben, durch die der Einfluß von Komponenten, z. B. Bearbeitungsstationen, einer Fertigungsstraße auf die Leistungsfähigkeit der Fertigungsstraße ermittelt werden. Als Maß für die Leistungsfähigkeit wird der X-Faktor einer Komponente verwendet, das ist der Quotient aus Durchlaufzeit (cycle time) und reiner Bearbeitungszeit (raw processing time). Die Durchlaufzeit ist die Zeitspanne, die zwischen dem Zeitpunkt, an dem ein Werkstück die Komponente erreicht, und dem Zeitpunkt, an dem es sie verläßt, verstreicht. Mit steigendem Durchsatz durch die Fertigungsstraße steigt der X-Faktor stark an. Um eine gegebene Durchlaufzeit zu erreichen, ist oft der Durchsatz zu reduzieren, was mit Kosten verbunden ist. Daher ist ein Kompromiß zwischen Durchsatz, Termintreuegrad, Kapazität und hoher Auslastung der Komponenten zu finden. Aus den X-Faktoren und - in einer Ausführungsform - dem Durchsatz durch den Fertigungsprozeß werden Bewertungen der Komponenten abgeleitet. Maßnahmen zur Optimierung gelten schlecht bewerteten Komponenten.

Das Verfahren und die Vorrichtung gemäß US 6,259,959 B1 erfordern, daß die reine Bearbeitungszeit jedes Teilprozesses gemessen oder auf andere Weise ermittelt wird. Derartige Messergebnisse der reinen Bearbeitungszeit, die nur ein Teil der gesamten Durchlaufzeit durch einen Teilprozeß ist, stehen häufig nicht zur Verfügung. Darüber hinaus wird nicht offenbart, wie ein bestimmter Termintreuegrad eingehalten werden kann.

In US 6,195,590 B1 werden eine Vorrichtung und ein Verfahren offenbart, um die Einhaltung eines Terminplans für einen Fertigungsprozeß mit mehreren Teilprozessen zu überwachen. Vorgegeben werden ein gewünschter Abschlußtermin des Fertigungsprozesses, z. B. ein Schlußabnahmetermin, sowie geschätzte Durchlaufzeiten durch die Teilprozesse und Verfügbarkeiten externer Ereignisse, die für den Beginn von Teilprozessen

eingetreten sein müssen. Aus Abschlußtermin und Durchlaufzeiten werden gewünschte Anfangszeiten („base line schedule data“) für die Teilprozesse abgeleitet, die mit den Terminen externer Ereignisse verglichen werden. Die größte Abweichung  
5 und der dafür verantwortliche Teilprozeß werden ermittelt. Auch in dieser Druckschrift wird nicht offenbart, wie ein bestimmter Termintreuegrad eingehalten werden kann.

Aus US 5,229,948 ist ein Verfahren zur Optimierung eines seriellen Fertigungsprozesses mit mehreren Teilprozessen („stages“) bekannt. Ein quantitatives Modell mit Zuständen, z. B. realisiert durch Pufferspeicher, wird aufgestellt, und die Leistung („performance“) des Fertigungsprozesses und einzelner Teilprozesse wird durch Modellsimulation ermittelt. Bei Bedarf wird ermittelt, welche Pufferspeicher verändert werden  
10 müssen, um die größte Verbesserung zu erbringen. Die Aufstellung und die Anpassung eines solchen Modells sind mit erheblichem Aufwand verbunden und bergen die Gefahr von Fehlern in sich.  
15

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, durch welche die Auswirkungen von Durchlaufzeit-Begrenzungen für Teilprozesse auf Qualitätsparameter eines Fertigungsprozesses ermittelt werden, ohne daß ein analytisches Modell des Fertigungsprozesses benötigt wird und ohne daß Eingriffe in den realen Fertigungsprozeß erforderlich sind.  
20  
25

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1, eine Vorrichtung nach Anspruch 12 und ein Computerprogramm-Produkt nach Anspruch 17 oder Anspruch 18 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

30 Durch die Erfindung wird es ermöglicht, automatisch die Auswirkung von Beschränkungen für Durchlaufzeiten durch Teilprozesse zu ermitteln. Für mindestens einen Teilprozeß ist eine Durchlaufzeit-Beschränkung, im folgenden auch Maximal-Durchlaufzeit genannt, vorgegeben. Für mehrere Teilprozesse  
35 kann je eine Beschränkung vorgegeben sein. Das Verfahren läßt

sich insbesondere dazu verwenden, die Auswirkungen von unterschiedlichen Durchlaufzeit-Beschränkungen für denselben Teilprozeß oder für verschiedene Teilprozesse vorab zu erproben, ohne am realen Fertigungsprozeß Änderungen vornehmen zu müssen. Änderungen am realen Fertigungsprozeß sind oft sehr teuer, daher rentiert es sich, verschiedene mögliche Änderungen auf einer Datenverarbeitungsanlage durch Simulationen durchzuspielen, also zunächst ohne Eingriff in den realen Fertigungsprozeß zu erproben und zu vergleichen, und erst dann reale Eingriffe und Änderungen vorzunehmen. Dadurch läßt sich ermitteln, welche Teilprozesse überdurchschnittlich zu hohen tatsächlichen Durchlaufzeiten beitragen und in welchen Teilprozessen Verbesserungen und Investitionen besonders hohe Verbesserungen erbringen. Dank des Verfahrens lassen sich also die wirksamen Stellschrauben identifizieren. Vermieden wird, einen falschen Teilprozeß zu optimieren, also einen solchen, dessen Verbesserung wenig zur Reduzierung der Durchlaufzeit durch den gesamten Fertigungsprozeß beiträgt.

Das Verfahren liefert ein systematisches Vorgehen, um Verkürzungen und Beschränkungen für die Durchlaufzeit durch die Teilprozesse festzulegen und um deren Auswirkungen auf Termintreuegrad und Lagerungs-Zeitspanne sowie Lagerbestand vorherzusagen. Das Verfahren liefert bessere Ergebnisse als wenn z. B. lediglich ein maximaler Lagerbestand, eine maximale oder eine Soll-Durchlaufzeit durch den gesamten Fertigungsprozeß oder ein minimaler Termintreuegrad vorgegeben werden. Vielmehr wird ein guter Kompromiß zwischen den oben beschriebenen konkurrierenden Anforderungen gefunden.

Ein weiterer Vorzug des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, daß nicht fest vorgegeben werden muß, welches die bekannten Eingangsgrößen und welches die zu ermittelnden Ausgangsgrößen sind. Vielmehr lassen sich beispielsweise wahlweise maximale Durchlaufzeit, minimaler Termintreuegrad und/oder maximaler Lagerungs-Zeitspanne oder Lagerbestand vorgeben, und die übrigen Parameter lassen sich in Abhängigkeit von diesen Vorgaben bestimmen.

Das Verfahren läßt sich für Vertriebsplanungen anwenden, z. B. um dem Kunden eines Auftrags verläßlich einen Auslieferungstermin zu nennen, an dem der Auftrag fertiggestellt sein wird. Weiterhin läßt es sich für Verbesserungen in einzelnen  
5 Teilprozessen, z. B. einen kontinuierlichen Verbesserungsprozeß, anwenden, um die Wirkung von Verbesserungen vorherzusagen, um die tatsächlichen mit den vorhergesagten Wirkungen zu vergleichen und um Schwachpunkte und Fehler bei der Umsetzung der Verbesserungen frühzeitig zu entdecken. Verschiedene mög-  
10 liche Maßnahmen lassen sich frühzeitig hinsichtlich ihrer Kosten und ihrer Auswirkungen auf Parameter des Fertigungsprozesses vorhersagen und vergleichen.

Die Erfindung benötigt kein analytisches Modell des Fertigungsprozesses und vermeidet damit die oben beschriebenen  
15 Nachteile, die mit dem Aufstellen und der Pflege eines solchen Modells verbunden sind. Die verwendete Stichprobe mit tatsächlichen, am realen Fertigungsprozeß gemessenen Durchlaufzeiten von Exemplaren eines technischen Produkts, das durch den Fertigungsprozeß hergestellt wird, steht in der Regel ohnehin zur Verfügung, z. B. aus Betriebsprotokollen des  
20 Fertigungsprozesses. Jedes Stichprobenelement umfaßt die Durchlaufzeiten dieses Elements durch jeden Teilprozeß. Dadurch enthält die Stichprobe ohne zusätzlichen Aufwand Informationen darüber, wie sich die Durchlaufzeit für ein Stichprobenelement durch einen Teilprozeß auf die Durchlaufzeit  
25 desselben Elements durch einen anderen Teilprozeß auswirkt. Damit sind Modellierungen oder Annahmen über Abhängigkeiten zwischen Teilprozessen, z. B. die Voraussetzung einer Unabhängigkeit im Sinne der Statistik, nicht erforderlich. Derartige Annahmen treffen häufig in der Wirklichkeit nicht zu.  
30

Das Verfahren läßt sich auch dann anwenden, wenn der Fertigungsprozeß und die dafür verwendete Fertigungsstätte noch gar nicht in der Realität existieren. In diesem Fall wird  
freilich ein Modell benötigt, und die Stichprobe wird durch  
35 eine Modellsimulation, vorzugsweise Monte-Carlo-Simulationen, gewonnen. Die Ergebnisse lassen sich nutzen, um eine komplet-



te Fertigungsstätte oder einen Teilprozeß „auf der grünen Wiese“ zu planen und Alternativen zu vergleichen.

Möglich ist es weiterhin, für einen Teilprozeß eine Kurve, welche den Termintreuegrad als Funktion der Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß angibt, als Charakteristik vorzugeben und die Produktion an diese Charakteristik anzupassen.

Dank einer Weiterbildung der Erfindung lassen sich mit Hilfe derselben Stichprobe zwei verschiedene Kennziffern des Fertigungsprozesses ermitteln, nämlich den Termintreuegrad und die durchschnittliche Lagerungs-Zeitspanne (Anspruch 5). In einer Fortbildung der Erfindung (Anspruch 2) wird der Termintreuegrad als Funktion der Soll-Durchlaufzeit ermittelt. Dank dieser Fortbildung ist es nicht erforderlich, z. B. einen Termintreuegrad oder eine Soll-Durchlaufzeit fest vorzugeben und den Fertigungsprozeß auf diese feste Vorgabe auszurichten. Vielmehr wird die Funktion graphisch dargestellt, und eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe kann diese Funktion analysieren und einen Arbeitspunkt, also eine Soll-Durchlaufzeit und den aus ihr resultierenden Termintreuegrad, festlegen. Eine weitere Ausgestaltung (Anspruch 3) sieht vor, einen solchen Arbeitspunkt automatisch auszuwählen. Die Funktion ist monoton steigend, da eine größere Soll-Durchlaufzeit zu einem größeren oder wenigstens gleichen Terminerfüllungsgrad führt. Daher läßt sich ihre Steigung wenigstens näherungsweise bestimmen, und als Arbeitspunkt wird derjenige ausgewählt, in dem die Steigung der Funktion näherungsweise 45 Grad beträgt. Für größere Soll-Durchlaufzeiten läuft die Funktion schnell in eine Sättigung, so daß eine größere Soll-Durchlaufzeit zwar zu einem größeren Lagerbestand, aber nur noch zu einem geringfügig größeren Terminerfüllungsgrad führt. Kleinere Soll-Durchlaufzeiten führen zu einem erheblich geringeren Terminerfüllungsgrad, darüber hinaus sind sie oft nicht realisierbar.

Im folgenden wird eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens beschrieben. Dabei zeigen:

Fig. 1. die Reihenfolge von acht Teilprozessen eines beispielhaften Fertigungsprozesses;

5 Fig. 2. ein Beispiel für ein Histogramm;

Fig. 3. ein Vergleich des Histogramms der Fig. 2 mit einem Histogramm mit reduzierten Durchlaufzeiten;

10 Fig. 4. den Termintreuegrad als Funktion der Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß für vier Kombinationen von oberen Schranken für Teilprozesse;

15 Fig. 5. die Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß als Funktion des Termintreuegrads für vier Kombinationen von oberen Schranken für Teilprozesse;

Fig. 6. den Termintreuegrad in Prozent als Funktion der Soll-Durchlaufzeit in Tagen durch den Fertigungsprozeß;

20

Fig. 7. die mittlere Lagerungs-Zeitspanne in Tagen als Funktion der Soll-Durchlaufzeit in Tagen durch den Fertigungsprozeß;

25 Fig. 8. die Auswahl eines Arbeitspunktes auf der Funktion der Fig. 6.

Fig. 9. den aus der Auswahl von Fig. 8 resultierenden Arbeitspunkt auf der Funktion der Fig. 7;

30

Fig. 10. den aus der Auswahl von Fig. 8 resultierenden Arbeitspunkt auf dem mittleren Lagerbestand als Funktion der Soll-Durchlaufzeit.

- 5 Die Erfindung wird am Beispiel eines Fertigungsprozesses zur Herstellung von Kraftfahrzeugen einer bestimmten Baureihe beschrieben. Berücksichtigt werden folgende beispielhafte Teilprozesse des Fertigungsprozesses, die in der Reihenfolge der Auflistung nacheinander ausgeführt werden:
- 10 - Fahrzeug-Einplanung,  
- Vorlauf-Logistik 100.1: der erforderliche Vorlauf für die Produktion, z. B. um Lieferanten zu informieren und/oder zu beauftragen,  
- Rohbau 100.2,
- 15 - Oberfläche 100.3, insbes. Lackierung,  
- Produktions-Logistik 100.4, durch die insbesondere Zeiten für  
- Transporte innerhalb der Fertigungsstätte,  
- unterschiedliche Arbeitszeiten der „Gewerke“
- 20 - und Zusammenstellen der Produkte in der Reihenfolge, in der nachfolgende Teilprozesse diese benötigen,  
berücksichtigt werden,
- Inneneinbau 100.5 als Teilprozeß, der alle Montagen in das Innere des Autos zusammenfaßt, z. B. Cockpit, Sitze, Verkleidungen,
- 25 - Fahrwerk 100.6 als Teilprozeß, der alle Montagen von unten zusammenfaßt, z. B. Motor, Triebstrang, Achsen, Räder, Kabel,
- Einfahren 100.7 einschließlich Einstellungen z. B. an Beleuchtung, Bremsen, Fahrwerk
- 30 - Wagen-Fertigstellung 100.8 einschließlich erforderlicher Nacharbeiten, und

- Schlußabnahme.

Fahrzeug-Einplanung und Schlußabnahme erfordern keine Durchlaufzeiten, so daß sie im folgenden nicht berücksichtigt werden.

- 5 Eine Festlegung der Reihenfolge, in der die  $n$  Teilprozesse des Fertigungsprozesses ausgeführt werden, wird aufgestellt und steht dem erfindungsgemäßen Verfahren und dem System als Eingangsgröße zur Verfügung. Die Teilprozesse werden so von-
- 10 einander abgegrenzt, daß keine Teilprozesse parallel oder alternativ ausgeführt werden. Vielmehr werden die Teilprozesse so definiert, daß Verzweigungen nur innerhalb eines Teilprozesses auftreten. Übergangszeiten zwischen den Teilprozessen treten nicht auf, da Transport- und Wartezeiten im Teilprozeß Produktions-Logistik berücksichtigt sind. Damit verbleiben  $n$
- 15 = 8 Teilprozesse 100.1 bis 100.8. Fig. 1 veranschaulicht die Reihenfolge dieser acht Teilprozesse.

- Diese Festlegung wird z. B. mit Hilfe eines auf einer Datenverarbeitungsanlage verfügbaren Simulationswerkzeugs getroffen. Für jeden Teilprozeß wird ein parametrierbarer Simulationsbaustein erzeugt, insgesamt also  $n$  Simulationsbausteine.
- 20 Ein Pfeil verbindet einen Simulationsbaustein für einen Teilprozeß mit dem Simulationsbaustein für den nachfolgenden Teilprozeß.

- Eine Stichprobe mit in der Vergangenheit erzielten tatsächlichen, am realen Fertigungsprozeß gemessenen Durchlaufzeiten wird ermittelt. Die  $N$  Stichprobenelemente dieser Stichprobe stammen vorzugsweise von  $N$  gleichartigen oder ähnlichen technischen Produkten, z. B.  $N$  in den letzten neun Monaten gefertigten Kraftfahrzeugen einer Baureihe. Die Verwendung einer
- 25 Stichprobe ist ein Merkmal der Erfindung, das die Verwendung eines analytischen Modells überflüssig macht. Im Falle der Serienfertigung steht eine solche Stichprobe in der Regel ohnehin zur Verfügung.
- 30

Jedes Stichprobenelement umfaßt folgende Informationen:

- 35 - eine eindeutige Kennung des Stichprobenelements

- und die Durchlaufzeit durch jeden Teilprozeß, im Ausführungsbeispiel also acht Durchlaufzeiten pro Stichprobenelement, die z. B. in Tagen oder Stunden angegeben wird.

Vorzugsweise werden aus den tatsächlichen Durchlaufzeiten die Pausen zwischen zwei Schichten sowie Stillstandszeiten z. B. aufgrund von Wochenenden, Feiertagen und/oder während der Nacht herausgerechnet. Dadurch ist sichergestellt, daß die Zeitangaben in den Stichprobenelementen für alle Teilprozesse gleichwertig sind.

- 10 Optional umfaßt das Stichprobenelement zusätzlich mindestens eine der folgenden Informationen:

- eine Kennung der Variante des technischen Produkts, von der das jeweilige Exemplar, auf die sich das Stichprobenelement bezieht, ist,
- 15 - Beginn und Ende des Durchlaufs durch den jeweiligen Teilprozeß
- und der tatsächliche Schlußabnahmetermin für das Exemplar.

- Die Durchlaufzeiten durch die n Teilprozesse 100.1, 100.2, ... lassen sich mit Hilfe von n Histogrammen graphisch darstellen. Hierfür werden die Stichprobenelemente pro Teilprozeß jeweils nach Durchlaufzeiten gruppiert. Beispielsweise werden alle Stichprobenelemente zu einer ersten Gruppe 210.1 zusammengefaßt, die eine Durchlaufzeit durch den Rohbau kleiner als 0,5 Tagen haben, alle Stichprobenelemente mit einer Durchlaufzeit durch den Rohbau zwischen 0,5 Tagen und 1 Tag zu einer zweiten Gruppe 210.2 und so fort bis zu einer Gruppe 210.7 für Elemente mit einer Durchlaufzeit von 3 Tagen und mehr, insgesamt also 7 Gruppen. Im Ausführungsbeispiel lassen sich demnach acht Histogramme für die acht Teilprozesse erzeugen. In x-Richtung des Histogramms werden die Gruppen aufsteigend sortiert aufgetragen, in y-Richtung die Anzahl der Stichprobenelemente jeder Gruppe z. B. durch Balken dargestellt. Die Höhe dieses Balkens veranschaulicht die Anzahl der Stichprobenelemente in der jeweiligen Gruppe. Fig. 2 zeigt beispielhaft ein Histogramm für einen Teilprozeß. In
- 20
- 25
- 30
- 35

diesem Beispiel fallen in die Gruppe 210.3 für 1,0 bis 1,5 Tagen 268 Stichprobenelemente.

Auch die Durchlaufzeit durch den gesamten Fertigungsprozeß läßt sich mit Hilfe eines Histogramms darstellen.

- 5 Aus einem Histogramm für die Durchlaufzeit durch einen Teilprozeß läßt sich der Termintreuegrad für den Teilprozeß als Funktion der Soll-Durchlaufzeit durch den Teilprozeß oder umgekehrt die Soll-Durchlaufzeit als Funktion des Termintreuegrads ermitteln. Im ersten Fall wird eine Entscheidungs-
- 10 vorschrift angewendet, die entscheidet, wann ein Simulationselement als termintreu gilt. Die einfachste Ausführungsform der Entscheidungsvorschrift besteht daraus, ein Stichprobenelement als termintreu zu werten, wenn die tatsächliche Durchlaufzeit durch den Teilprozeß kleiner oder gleich einer
- 15 Soll-Durchlaufzeit ist. Eine kompliziertere Ausführungsform sieht vor, eine Stichprobe noch als termintreu zu werten, wenn sie zwar eine zu große Durchlaufzeit hat, jedoch noch am vorgegebenen Tag den Teilprozeß bzw. Fertigungsprozeß verlassen hat. Wird diese Entscheidungsvorschrift bei einer gegebenen
- 20 Soll-Durchlaufzeit auf jedes Stichprobenelement angewendet, so wird dadurch der Termintreuegrad für diese Soll-Durchlaufzeit bestimmt. Wird die Soll-Durchlaufzeit variiert, z. B. zwischen Null und der größten tatsächlichen Durchlaufzeit durch den Teilprozeß, so wird der Termintreuegrad als
- 25 Funktion der Soll-Durchlaufzeit ermittelt. Diese Funktion ist monoton steigend. Durch Umkehrung wird die Soll-Durchlaufzeit als Funktion des Termintreuegrads ermittelt.

- Im Beispiel der Fig. 2 umfaßt die Stichprobe  $N = 398$  Elemente. Von diesen haben 368 eine Durchlaufzeit von maximal 1,5
- 30 Tagen und 30 eine größere. Für eine Soll-Durchlaufzeit von maximal 1,5 Tagen beträgt der Termintreuegrad  $TTG = 368 / 398 * 100\% = 92,46\%$ . Wird die Soll-Durchlaufzeit durch diesen Teilprozeß auf 3,0 Tage erhöht, so haben nur noch 2 Stichprobenelemente eine zu große Durchlaufzeit. Der
- 35 Termintreuegrad beträgt dann  $TTG = 396 / 398 * 100\% = 99,47\%$ .

Das Simulationswerkzeug vermag N Durchlaufzeiten durch den gesamten Fertigungsprozeß für die N Stichprobenelemente zu bestimmen. Hierfür werden die Durchlaufzeiten durch die n Teilprozesse für das Stichprobenelement in die n Simulations-  
 5 bausteine eingesetzt und eine Gesamt-Durchlaufzeit bestimmt. Oder die n Durchlaufzeiten eines Stichprobenelements werden einfach addiert, um die gesamte Durchlaufzeit zu bestimmen.

In einem ersten Schritt der bevorzugten Ausführungsform werden verschiedene Kombinationen von Durchlaufzeit-Begrenzungen erzeugt. Jede Kombination umfaßt mindestens eine Maximal-Durchlaufzeit, das ist eine obere Schranke für die Durchlaufzeit, durch einen Teilprozeß. Möglich ist, daß eine derartige Begrenzung Maximal-Durchlaufzeiten durch verschiedene oder  
 10 gar alle der n Teilprozesse festlegt. Verschiedene Kombinationen können unterschiedliche Maximal-Durchlaufzeiten für denselben Teilprozeß festlegen. Für jede Kombination wird wie im folgenden beschrieben eine Bewertung abgeleitet, um zu ermitteln, welche Kombination welche Auswirkungen auf Termintreuegrad und Soll-Durchlaufzeit durch den gesamten Prozeß haben  
 15 wird.

Bei einer Vorgehensweise, um Maximal-Durchlaufzeiten (genauer: zu untersuchende Kandidaten für die Maximal-Durchlaufzeit) für einen Teilprozeß abzuleiten, wird die Stichprobe mit den tatsächlichen Durchlaufzeiten durch diesen  
 25 Teilprozeß verwendet. Aus der Stichprobe wird für verschiedene Durchlaufzeiten jeweils der Anteil derjenigen Stichprobenelemente an der Stichproben-Gesamtheit ermittelt, deren Durchlaufzeiten unter oder auf der jeweiligen Maximal-Durchlaufzeit liegen und die daher termintreu sind. Beispielsweise wird folgende Tabelle 1 für den Teilprozeß 100.7  
 30 „Einfahren“ ermittelt (DLZ = Durchlaufzeit):

Maximal-DLZ [Tage]	Anteil Elemente mit DLZ kleiner oder gleich Maximal-DLZ [%]
10,0	100
5,0	98

3,1	95
1,9	90
1,5	85
1,2	80

Tabelle 1: Durchlaufzeiten durch den Teilprozeß 100.7 „Einfahren“

Interpretation der letzten Zeile: 80% aller Stichprobenelemente haben eine Durchlaufzeit durch den Teilprozeß von kleiner oder gleich 1,2 Tagen. Wird eine Maximal-Durchlaufzeit von 1,2 Tagen vorgegeben, so sind - ohne Veränderungen am Fertigungsprozeß - nur 80% aller Stichprobenelemente termin-treu.

Es ist auch möglich, umgekehrt verschiedene Werte für den Anteil vorzugeben, z. B. 10%, 95%, ... , 80%, und die jeweils kleinste erreichbare Maximal-Durchlaufzeit zu bestimmen.

Einzelne oder alle Zeilen der Tabelle werden ausgewählt, und die jeweiligen Maximal-Durchlaufzeiten (Maximal-DLZ, 1. Spalte) werden als obere Schranken verwendet.

Beispielsweise bei der Auswahl von verschiedenen zu untersuchenden Maximal-Durchlaufzeiten sind technische Überlegungen anzustellen, um zu ermitteln, welche möglichen Schranken erreichbar sind. Dies hängt u. a. von den technischen Verbesserungen, die als realisierbar erscheinen, und von verfügbaren technischen Vorrichtungen ab. Ein Beispiel für eine Verbesserung des Teilprozesses „Rohbau“ 100.2: Durch zusätzliche Meßsysteme werden Oberflächenfehler frühzeitig erkannt, nämlich schon im Teilprozeß „Rohbau“ 100.2 und nicht erst in nachfolgenden Teilprozessen, z. B. „Oberfläche“ 100.3 oder „Inneneinbau“ 100.5 oder gar „Wagen-Fertigstellung“ 100.8. Diese Verbesserungsmaßnahmen im Rohbau reduzieren dann die erforderlichen Nacharbeiten und damit die maximalen Durchlaufzeiten in nachfolgenden Teilprozessen. Mögliche Verbesserungen im Teilprozeß „Vorlauf-Logistik“ 100.1 sind eine höhere Verfügbarkeit im Lieferanten- und Einkaufsprozess, Veränderungen



in der Materialbeschaffung oder dem Produktentstehungsprozeß. Bei manchen möglichen Verbesserungen sind also verschiedene Teilprozesse zu berücksichtigen: Verbesserungen in einem Teilprozeß führen zu kürzeren Durchlaufzeiten in nachfolgenden Teilprozessen.

Im zweiten Schritt wird für jede Kombination ermittelt, welche Durchlaufzeit-Verteilung durch den gesamten Fertigungsprozeß die Maximal-Durchlaufzeit bzw. die Maximal-Durchlaufzeiten dieser Kombination erbringen werden, wenn es gelingt, die tatsächlichen Durchlaufzeiten für alle Exemplare unter die jeweilige Maximal-Durchlaufzeit zu bringen. Hierfür wird die vorgegebene Stichprobe abgewandelt, und mit den abgewandelten Stichprobenelementen werden Durchlaufzeiten durch den Fertigungsprozeß berechnet. Fünf beispielhafte Kombinationen legen für den Teilprozeß „Einfahren“ eine Maximal-Durchlaufzeit von 10 Tagen, 3,1 Tagen, 1,9 Tagen, 1,4 Tagen bzw. 1,2 Tagen fest. Für die anderen sieben Teilprozesse legen diese fünf Kombinationen keine Maximal-Durchlaufzeiten fest.

Eine dieser beispielhaften Kombinationen begrenzt also die Durchlaufzeit durch den Teilprozeß „Einfahren“ auf 1,5 Tage und gibt für die übrigen Teilprozesse keine Maximal-Durchlaufzeiten vor. Um die Auswirkungen dieser Kombination auf die Durchlaufzeiten durch den Fertigungsprozeß zu ermitteln, wird bevorzugt wie folgt vorgegangen: In allen Stichprobenelementen mit einer Durchlaufzeit durch den Teilprozeß „Einfahren“ von größer 1,5 Tagen wird die Durchlaufzeit fiktiv auf Werte gesetzt, die durch einen Zufallszahlen-Generator ermittelt werden und z. B. zwischen 0,5 Tagen und 1,5 Tagen als dem Korridor für einen fehlerfreien und verzögerungslosen Durchgang durch den Teilprozeß. Oder in allen Stichprobenelementen werden die Durchlaufzeiten um denselben Verkürzungsfaktor verringert, so daß alle Durchlaufzeiten unter der Schranke liegen. Beispielsweise wird der Verkürzungsfaktor als Quotient aus Maximal-Durchlaufzeit und maximaler tatsächlicher Durchlaufzeit der Stichprobenelemente durch den

ausgewählten Teilprozeß bestimmt. Die Maximal-Durchlaufzeit ist bei beiden Ausgestaltungen eine obere Schranke für die Durchlaufzeit durch den Teilprozeß, zulässig sind geringere Durchlaufzeiten. Oder die Maximal-Durchlaufzeit wird als exakte Vorgabe aufgefaßt. Dann wird in allen Stichprobenelementen mit einer Durchlaufzeit durch den Teilprozeß die Durchlaufzeit fiktiv auf einen Wert von genau 1,5 Tagen gesetzt. Im folgenden wird einheitlich von „Maximal-Durchlaufzeit“ gesprochen.

- 10 Möglich ist auch, einen Verkürzungsfaktor für die Durchlaufzeit durch einen Teilprozeß anstelle einer Maximal-Durchlaufzeit vorzugeben. Nach der Reduzierung aller Durchlaufzeiten durch den Teilprozeß um diesen Verkürzungsfaktor ergibt sich eine Maximal-Durchlaufzeit, die gleich dem Produkt aus Verkürzungsfaktor und maximaler tatsächlicher Durchlaufzeit der Stichprobenelemente durch den Teilprozeß ist.
- 15 Möglich ist, eine Kombination von Verkürzungsfaktoren für mehrere Teilprozesse vorzugeben.

Im Beispiel der Fig. 3 ist links das Histogramm 200.1 für die unveränderten Durchlaufzeiten durch den Teilprozeß „Einfahren“ 100.7 und rechts ein Histogramm 200.2 für die auf 1,5 Tage reduzierten Durchlaufzeiten gezeigt. Diese obere Schranke ist durch einen Balken 220 veranschaulicht. Alle Stichprobenelemente erhalten fiktiv eine Durchlaufzeit zwischen 1,0 und 1,5 Tagen.

In der folgenden Tabelle 2 sind beispielhaft die Maximal-Durchlaufzeiten für die fünf obigen Kombinationen und jeweils zwei Werte für den Termintreuegrad (TTG) angegeben:

Kombination		Max. DLZ [Tagen]	Max. DLZ [Tagen]
Name	Maximal-DLZ [Tage] für „Einfahren“	für Ferti- gungsprozeß bei TTG = 91%	für Ferti- gungsprozeß bei TTG = 93%
Komb 1	10	13,5	14,1
Komb 2	3,1	13,2	13,5

Komb 3	1,9	12,7	13,0
Komb 4	1,4	12,5	12,9
Komb 5	1,2	12,5	12,8

Tabelle 2: maximale DLZ und TTG für fünf Kombinationen mit je einer DLZ-Schranke

Interpretation: Wird die Durchlaufzeit durch den Teilprozeß „Einfahren“ 100.7 auf 1,2 Tage beschränkt, so erreichen 91% aller Stichprobenelemente eine Durchlaufzeit von 12,5 Tagen oder weniger durch den gesamten Fertigungsprozeß und 93% eine von 12,8 Tagen oder weniger.

In der folgenden Tabelle 3 sind beispielhaft die erreichten Soll-Durchlaufzeiten durch den Fertigungsprozeß in Abhängigkeit von zwei Termintreuegraden für fünf weitere Kombinationen angegeben. Jede dieser fünf weiteren Kombinationen legt eine erste Maximal-Durchlaufzeit für den Teilprozeß „Einfahren“ und eine zweite Maximal-Durchlaufzeit für den Teilprozeß „Oberfläche“ und für die sechs übrigen Teilprozesse keine oberen Schranken fest. Weil die erste Maximal-Durchlaufzeit die gleiche wie in Tabelle 2 ist und jeweils eine zweite Maximal-Durchlaufzeit vorgegeben ist, werden geringere Soll-Durchlaufzeiten durch den Fertigungsprozeß erreicht.

Kombination			Soll-DLZ [Tagen] bei TTG = 91%	Soll-DLZ [Tage] bei TTG = 93%
Name	Maximal-DLZ [Tage] für „Einfahren“	Maximal-DLZ [Tage] für „Oberfläche“		
Komb 6	10	10	13,5	14,1
Komb 7	3,1	2,8	13,1	13,4
Komb 8	1,9	2,2	12,5	12,7
Komb 9	1,4	2,0	12,2	12,4
Komb 10	1,2	1,8	12,0	12,3

Tabelle 3: maximale DLZ und TTG für fünf weiteren Kombinationen mit je zwei DLZ-Schranken

Interpretation: Wird die Durchlaufzeit durch den Teilprozeß „Einfahren“ auf 1,2 Tage und die durch den Teilprozeß „Oberfläche“ auf 1,8 Tage beschränkt, so erreichen 91% aller Stichprobenelemente eine Durchlaufzeit von 12,0 Tagen oder weniger und 93% eine von 12,3 Tagen oder weniger. Falls demnach 12,0 bzw. 12,3 Tage als Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß vorgegeben werden, so werden 91% bzw. 93% aller Exemplare termintreu fertiggestellt.

Für jede Kombination wird die erreichte Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß als Funktion des Termintreuegrads bei Erfülltsein der oberen Schranken der Kombination ermittelt. Für jede Kombination entsteht dadurch eine Funktion, die sich in einem Diagramm mit dem Termintreuegrad auf der x-Achse und der Soll-Durchlaufzeit auf der y-Achse darstellen läßt. Je größer der Termintreuegrad für eine gegebene Kombination ist, desto größer ist auch die Soll-Durchlaufzeit. Denn ein größerer Termintreuegrad kann bei gegebener Kombination und gegebener Stichprobe nur dadurch erreicht werden, daß mehr Stichprobenelemente als termintreu gelten.

Die Soll-Durchlaufzeit wird wie oben angegeben als Funktion des vorgegebenen Termintreuegrads bestimmt. Diese Funktion ist monoton steigend, und daher läßt sie sich umkehren.

Die folgende Tabelle 4 zeigt vier Kombinationen von oberen Schranken für Durchlaufzeiten durch Teilprozesse.

Kombination	Maximal-DLZ durch Teilprozesse [Tage]		
	Vorlauf-Logistik	Oberfläche	Einfahren
Komb 11	./.	./.	1,9
Komb 12	7,0	./.	1,9
Komb 13	7,0	2,2	1,9
Komb 14	./.	./.	./.

Tabelle 4: vier beispielhafte Kombinationen

Die Kombination Komb\_11 von Tabelle 4 legt nur für den Teilprozeß „Einfahren“ eine obere Schranke fest, für die üb-

rigen Teilprozesse hingegen keine. Die Kombination Komb\_14 legt keine obere Schranke fest.

Die folgende Tabelle 5 zeigt die erreichten Termintreuegrade als Funktion der Soll-Durchlaufzeit für die vier Kombinationen der Tabelle 4.

5

max. DLZ	Komb 11	Komb 12	Komb 13	Komb 14
12,0	76,5	80,8	83,4	74,1
12,5	84,4	88,4	90,7	80,2
13,0	88,9	92,5	94,4	84,3
13,5	91,7	94,9	96,2	87,6
14,0	93,3	96,2	97,3	89,7
14,5	94,5	97,2	98,0	91,3
15,0	95,4	97,8	98,4	92,6

Tabelle 5: Termintreuegrade für die Kombinationen von Tabelle 4

Interpretation: Die Maximal-Durchlaufzeiten gemäß der Kombination Komb\_13 führen bei einer Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß von 12,0 Tagen zu einem Termintreuegrad von 83,4% und bei einer von 15 Tagen zu einem von 98,4%. Anders formuliert: Bei Komb\_13 erreichen 83,4% aller Stichprobenelemente eine Durchlaufzeit von 12,0 Tagen oder weniger und 98,4% eine von 15,0 Tagen oder weniger.

Fig. 4 zeigt die vier Funktionen von Tabelle 5 in einem x-y-Diagramm mit der Soll-Durchlaufzeit in Tagen DLZ[d] auf der x-Achse und der Termintreuegrad in Prozent TTG[%] auf der y-Achse. Die Funktion 300.11 in Fig. 4 gehört zur Kombination Komb\_11, die Funktion 300.14 zur Kombination Komb\_14. Fig. 7 zeigt die umgekehrten Funktionen, also jeweils die maximale Soll-Durchlaufzeit als Funktion des Termintreuegrads. Die Funktion 300.21 in Fig. 5 gehört zur Kombination Komb\_11, die Funktion 300.24 zur Kombination Komb\_14.

Wenn jeder möglichen Verbesserung, d. h. jeder möglichen Verkürzung der Durchlaufzeit durch einen Teilprozeß durch Einhalten einer Maximal-Durchlaufzeit, eine Kostenvorhersage zugeordnet ist, läßt sich vorhersagen, welche Kombination von  
 5 Maximal-Durchlaufzeiten mit welchen Kosten verbunden ist. Hierfür wird vorhergesagt, mit welchen Kosten eine mögliche Kombination verbunden ist. In der Regel reicht es, die jeweiligen Kostenvorhersagen für die einzelnen Teilprozesse zu addieren.

10 Im dritten Schritt wird eine Kombination von Maximal-Durchlaufzeiten ausgewählt. Die ausgewählte Kombination ordnet mindestens einem Teilprozeß eine von Maximal-Durchlaufzeit, das ist eine stets einzuhaltende obere Schranke für die Durchlaufzeit durch diesen Teilprozeß, zu. Sie  
 15 kann mehreren Teilprozessen je eine Maximal-Durchlaufzeit zuordnen. Für diese Kombination liegt der wie oben beschriebene Termintreuegrad als Funktion der Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß vor.

Die Auswahl einer Kombination kann durch Fachexperten vorgenommen werden, die sich hierfür bevorzugt eine graphische Darstellung der Auswirkungen verschiedener Kombinationen bedienen, z. B. einer wie in Fig. 4 oder Fig. 5 dargestellten.

Eine andere Ausführungsform, um eine Kombination auszuwählen, wird im folgenden beschrieben. Vorgegeben ist eine Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß. Für jeden Teilprozeß  
 25 wird der Termintreuegrad des Fertigungsprozesses als Funktion der prozentualen Verkürzung der Maximal-Durchlaufzeit durch den Teilprozeß ermittelt. Wie oben beschrieben, werden in den Stichprobenelementen die Durchlaufzeiten durch den Teilprozeß, die größer als eine obere  
 30 Schranke sind, verkürzt. Für 0% Verkürzung wird der durch die Stichprobe tatsächlich erreichte Termintreuegrad eingetragen.

Verkürzung Maximal-DLZ durch Teilprozeß „Einfahren“ [%]	Termintreuegrad für Fertigungsprozeß [%]
0	70,0

10	86,0
20	91,0
30	93,5
40	95,0
50	96,1

Tabelle 6: Termintreuegrad als Funktion der prozentualen Verkürzung der Maximal-Durchlaufzeit

Interpretation: In der vorliegenden Stichprobe wird ein Termintreuegrad von 70,0% erreicht. Wenn die Maximal-Durchlaufzeit durch den Teilprozeß „Einfahren“ um 30% verkürzt wird, so steigt der Termintreuegrad auf 93,5%. Der Termintreuegrad als Funktion der prozentualen Verkürzung ist steigend und läuft typischerweise in eine Sättigung. Eine Verkürzung der Maximal-Durchlaufzeit über einen Sättigungspunkt hinaus erbringt eine nur geringe Steigerung des Termintreuegrads. Die Funktion wird als Kurve dargestellt, und ein Arbeitspunkt auf dieser Kurve wird ausgewählt, z. B. der mit einer Steigung von 45 Grad. Maßnahmen, die zu einer Verkürzung der Maximal-Durchlaufzeit kleiner als dem x-Wert des gewählten Arbeitspunktes führen, sind oft kurzfristig wirkende Maßnahmen, die vor allem Ausreißer beseitigen. Eine Verkürzung der Maximal-Durchlaufzeit größer als der x-Wert erfordert typischerweise strategische Maßnahmen.

Bei  $n$  Teilprozessen werden  $n$  Funktionen ermittelt und  $n$  Arbeitspunkte bestimmt. Dadurch werden  $n$  obere Schranken für die  $n$  Teilprozesse vergeben.

Weiterhin können die zu erwartenden Kosten hinterlegt sein, die mit der Erreichung einer Verbesserung für einen Teilprozeß verbunden sein können. Für verschiedene Maximal-Durchlaufzeiten und damit verschiedenen Kombinationen können dadurch Kosten festgelegt worden sein. Verschiedene Werte für den Termintreuegrad können darüber hinaus mit Bewertungen für den jeweils zu erwartenden Nutzen versehen sein. Jeweils ein Nutzen-Kosten-Verhältnis für verschiedene Kombinationen wird

gebildet, diese werden verglichen. Bevorzugt die Kombination mit dem optimalen Nutzen-Kosten-Verhältnis wird ausgewählt.

Im vierten Schritt wird für die ausgewählte Kombination von Begrenzungen der Termintreuegrad in Prozent sowie die durchschnittliche Lagerungs-Zeitspanne, z. B. in Tagen ausgedrückt, jeweils als Funktion der Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß ermittelt. Durch Variation der Soll-Durchlaufzeit wird die mittlere Lagerungs-Zeitspanne als Funktion der Soll-Durchlaufzeit bestimmt. Typischerweise ist diese Funktion über weite Bereiche nahezu linear und für kleine Durchlaufzeiten annähernd parabelförmig. Fig. 6 zeigt beispielhaft die Funktion für den Termintreuegrad und für die ausgewählte Kombination, nämlich die Kurve 300.3. Fig. 7 zeigt beispielhaft die Funktion für die Lagerungs-Zeitspanne und für die ausgewählte Kombination, nämlich die Kurve 300.4. Hierfür werden bevorzugt folgende Schritte durchgeführt:

- Diejenige Durchlaufzeit-Verteilung wird wie oben beschrieben ermittelt, die bei der ausgewählten Kombination von Begrenzungen entsteht. Die mittlere Durchlaufzeit aller Stichprobenelemente wird bestimmt, wobei auch Stichprobenelemente mit einer zu großen Durchlaufzeit berücksichtigt werden. Aus dieser wird wie oben beschrieben die Soll-Durchlaufzeit bestimmt.
- Die Differenz zwischen der Soll-Durchlaufzeit und mittlerer Durchlaufzeit aller Stichprobenelemente ist gleich der durchschnittlichen Lagerungs-Zeitspanne. Denn ein Auftrag wird im Durchschnitt bereits nach der mittleren Durchlaufzeit fertiggestellt, aber erst nach der Soll-Durchlaufzeit ausgeliefert. Für die Dauer dieser Differenz muß er zwischengelagert werden. Anmerkung: Nicht termintreue Aufträge brauchen nicht zwischengelagert zu werden, sondern werden sofort ausgeliefert.

Aus der Lagerungs-Zeitspanne wird der Lagerbestand ermittelt, der wie oben beschrieben gebundenes Kapital darstellt. Im Falle einer Autoproduktion wird dieser Lagerbestand oft als



- „Hofbestand“ bezeichnet. Die Tagesproduktion wird vereinfachend als konstant angesehen. Daher ist der Lagerbestand, gemessen in Exemplaren des Produkts, gleich dem Produkt aus der Tagesproduktion und der mittleren Lagerungs-Zeitspanne in Tagen. Die Produktionsrate und die Lagerungs-Zeitspanne können auch auf eine andere Bezugszeitdauer bezogen werden. Möglich ist auch, aus Stichproben die Produktionsrate als Funktion der Lagerungs-Zeitspanne zu bestimmen und diese Funktion anstelle einer konstanten Tagesproduktion zu verwenden.
- 10 Für die ausgewählte Kombination liegt wie oben beschrieben der Termintreuegrad als Funktion der Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß vor. Im fünften Schritt wird ein Arbeitspunkt auf dieser Funktion ausgewählt. Als Kurve dargestellt, ist diese Funktion monoton steigend und geht mit
- 15 steigender Soll-Durchlaufzeit typischerweise schnell in eine Sättigung über. Vorzugsweise wird wie folgt vorgegangen:
- Für den Lagerbestand in Exemplaren wird eine obere Schranke vorgegeben, die z. B. von einer Obergrenze für das gebundene Kapital und/oder dem verfügbaren Lagerplatz abgeleitet wird.
- 20 Aus dieser wird durch Division durch die Tagesproduktion eine obere Schranke für die Lagerungs-Zeitspanne abgeleitet. Diese obere Schranke wird im Beispiel der Fig. 7 durch den horizontalen Balken 250 angedeutet. Mit Hilfe der Funktion, welche die Lagerungs-Zeitspanne als Funktion der Soll-Durchlaufzeit
- 25 angibt, wird eine obere Schranke für die Soll-Durchlaufzeit abgeleitet. Bevorzugt wird diejenige Soll-Durchlaufzeit, die zur maximal zulässigen Lagerungs-Zeitspanne führt, als obere Schranke ausgewählt. Im Beispiel der Fig. 7 wird diese durch den vertikalen Balken 240.2 angedeutet.
- 30 Weiterhin ist eine untere Schranke für den Termintreuegrad vorgegeben, z. B. aufgrund von Anforderungen des Vertriebs oder der Qualitätssicherung. Mit Hilfe derjenigen Funktion, die den Termintreuegrad als Funktion der Soll-Durchlaufzeit angibt, wird eine untere Schranke für die Soll-Durchlaufzeit
- 35 bestimmt. Im Beispiel der Fig. 6 werden die vorgegebene untere Schranke für den Termintreuegrad durch den horizontalen

Balken 230 und die abgeleitete untere Schranke für die Soll-Durchlaufzeit durch den vertikalen Balken 240.1 angedeutet.

Ein Arbeitspunkt auf dieser Funktion wird bestimmt. Der x-Wert dieses Arbeitspunktes liefert eine Soll-Durchlaufzeit, der y-Wert den Termintreuegrad, die erreicht ist, wenn die durch die ausgewählte Kombination festgelegten Maximal-Durchlaufzeiten durch Teilprozesse stets eingehalten werden. Der Arbeitspunkt wird so ausgewählt, daß sein x-Wert zwischen unterer und oberer Schranke liegt. Bevorzugt wird derjenige Punkt ausgewählt, in dem die Kurve eine Steigung von 45 Grad hat. In diesem Arbeitspunkt reagiert der Fertigungsprozeß am effektivsten auf Verkürzungen der Durchlaufzeiten durch Teilprozesse durch Maßnahmen.

Fig. 8 zeigt beispielhaft dieses Vorgehen bei der Wahl eines Arbeitspunktes auf der Funktion 300.3. Gewählt wird der Arbeitspunkt 400, weil die Gerade 410 eine Steigung von 45 Grad besitzt. Die zu diesem Arbeitspunkt gehörende Soll-Durchlaufzeit 240.3 liegt zwischen der unteren Schranke 240.1 und der oberen Schranke 240.2.

Falls der so bestimmte Arbeitspunkt zu einer Soll-Durchlaufzeit kleiner als die untere oder größer als die obere Schranke führen würde, so wird die untere bzw. obere Schranke als Soll-Durchlaufzeit ausgewählt.

Fig. 8 zeigt den Termintreuegrad als Funktion 300.3 der Soll-Durchlaufzeit sowie den ermittelten Arbeitspunkt 400.3 und den erreichte Termintreuegrad 230.2. Fig. 9 zeigt die mittlere Lagerungs-Zeitspanne (LZ) in Tagen als Funktion 300.4 der Soll-Durchlaufzeit (DLZ) sowie den ermittelten Arbeitspunkt 400.4 und die erreichte Lagerungs-Zeitspanne 250.2. Fig. 10 zeigt den mittleren Lagerbestand als Funktion 300.5 der Soll-Durchlaufzeit sowie den ermittelten Arbeitspunkt 400.5 und den erreichten Lagerbestand (LB) 250.3.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden der Termintreuegrad, die mittlere Lagerungs-Zeitspanne und der mittlere Lagerbestand als Funktionen eines Sicherheitszuschlags zur

mittleren Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß bestimmt. Dieser Sicherheitszuschlag ist die Differenz aus Soll-Durchlaufzeit und mittlerer Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß aller Stichprobenelemente, einschließlich der mit einer zu großen Durchlaufzeit. Die mittlere Durchlaufzeit hängt von der jeweiligen Kombination ab, aber nicht von der variablen Soll-Durchlaufzeit. Dieser Sicherheitszuschlag ist die neue unabhängige Variable. Hierbei werden nur solche Soll-Durchlaufzeiten in Betracht gezogen, die größer als die mittlere Durchlaufzeit sind. Die oben beschriebene Vorgehensweise wird entsprechend abgewandelt, und ein Sicherheitszuschlag anstelle einer Soll-Durchlaufzeit wird ausgewählt.

Insgesamt liefert diese Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens folgende Qualitäts-Parameter des Fertigungsprozesses in einer systematischen und nachvollziehbaren Weise:

- jeweils eine Maximal-Durchlaufzeit durch einen oder mehrere Teilprozesse des Fertigungsprozesses,
- jeweils einen erreichten Termintreuegrad für jeden Teilprozeß,
- eine Durchlaufzeit-Verteilung durch den Fertigungsprozeß und eine Soll-Durchlaufzeit,
- den erreichten Termintreuegrad des gesamten Fertigungsprozesses,
- die mittlere Lagerungs-Zeitspanne z. B. in Tagen
- und den mittleren Lagerbestand in Exemplaren.

Zusammenfassend betrifft die Erfindung ein Verfahren, eine Vorrichtung und ein Computerprogramm-Produkt zur Ermittlung von Auswirkungen, die Durchlaufzeit-Begrenzungen für Teilprozesse eines Fertigungsprozesses auf Qualitätsparameter des Fertigungsprozesses haben. Für mindestens einen Teilprozeß eines seriellen Fertigungsprozesses wird eine Beschränkung der Soll-Durchlaufzeit vorgegeben, außerdem wird eine Soll-Durchlaufzeit durch den gesamten Fertigungsprozeß vorgegeben. Die Erfindung lehrt, wie mit Hilfe einer Stichprobe zwei

- Kennziffern des Fertigungsprozesses automatisch bestimmt werden, die aus der Durchlaufzeit-Begrenzung für den mindestens einen Teilprozeß resultieren: der Termintreuegrad (TTG) und die durchschnittliche Lagerungs-Zeitspanne. Letztere ist bei
- 5 konstantem Durchsatz proportional zum durchschnittlichen Lagerbestand mit fertiggestellten Produkten. Das Verfahren läßt sich insbesondere dazu verwenden, die Auswirkungen von unterschiedlichen Durchlaufzeit-Beschränkungen für verschiedene Teilprozesse vorab zu erproben.

10

## Bezugszeichenliste

Zeichen	Bedeutung
100.1, 100.2, ...	Teilprozesse
100.1	Teilprozeß Vorlauf-Logistik
100.2	Teilprozeß Rohbau
100.3	Teilprozeß Oberfläche
100.4	Teilprozeß Produktions-Logistik
100.5	Teilprozeß Inneneinbau
100.6	Teilprozeß Fahrwerk
100.7	Teilprozeß Einfahren
100.8	Teilprozeß Wagen-Fertigstellung
200.1, 200.2, ...	Histogramme für Durchlaufzeiten
210.1, 210.2, ...	Gruppen für die Histogramme
220	Maximal-Durchlaufzeit durch einen Teilprozeß
230.1	untere Schranke für den Termintreuegrad
230.2	aus Arbeitspunkt auf der Funktion 300.3 resultierender Termintreuegrad
240.1	untere Schranke für einen Sicherheitszuschlag in Tagen
240.2	obere Schranke für einen Sicherheitszuschlag

	in Tagen
240.3	Sicherheitszuschlag des gewählten Arbeitspunkts auf der Funktion 300.3
250.1	Obere Schranke für eine mittlere Lagerungs-Zeitspanne in Tagen
250.2	Aus Arbeitspunkt resultierende mittlere Lagerungs-Zeitspanne in Tagen
300.11, ... , 300.14	Termintreuegrad als Funktion der Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß für die Kombinationen Komb 11, ... , Komb 14
300.21, ... , 300.24	Soll-Durchlaufzeit durch Fertigungsprozeß als Funktion des Termintreuegrads für die Kombinationen Komb 11, ... , Komb 14
300.3	Termintreuegrad als Funktion des Sicherheitszuschlages für eine ausgewählte Kombination
300.4	Mittlere Lagerungs-Zeitspanne als Funktion des Sicherheitszuschlages für eine ausgewählte Kombination
300.5	Mittlerer Lagerbestand als Funktion des Sicherheitszuschlages für eine ausgewählte Kombination
400.3	gewählter Arbeitspunkt auf der Funktion 300.3
400.4	resultierender Arbeitspunkt auf der Funktion 300.4
400.5	resultierender Arbeitspunkt auf der Funktion 300.5
Komb_11, Komb_12, ...	Kombinationen von Maximal-Durchlaufzeiten durch Teilprozesse

DaimlerChrysler AG

Meyer-Gramann

23.10.2002

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Ermittlung von Auswirkungen von Durchlaufzeit-Begrenzungen für Teilprozesse (100.1, 100.2, ...) eines Fertigungsprozesses für unterscheidbare Exemplare eines technischen Produkts,
- wobei
- 10 - eine Festlegung der Reihenfolge, in der die Teilprozesse (100.1, 100.2, ...) des Fertigungsprozesses ausgeführt werden,
- eine Soll-Durchlaufzeit (240.1, 240.2, 240.3) durch den Fertigungsprozeß,
- 15 - eine Stichprobe mit Stichprobenelementen, wobei jedes Stichprobenelement die tatsächlichen Durchlaufzeiten eines Exemplars durch die Teilprozesse umfaßt,
- und eine Maximal-Durchlaufzeit (220) durch einen ausgewählten Teilprozeß (100.7)
- 20 vorgegeben sind
- und das Verfahren die Schritte umfaßt, die unter Verwendung einer Datenverarbeitungsanlage durchgeführt werden:
- in allen Stichprobenelementen Ersetzen der tatsächlichen Durchlaufzeiten durch den ausgewählten Teilprozeß

(100.7) auf reduzierte Durchlaufzeiten, die alle kleiner oder gleich der Maximal-Durchlaufzeit (220) sind,

- Ermitteln der aus der Reduzierung resultierenden Durchlaufzeiten durch den Fertigungsprozeß für die Stichprobe unter Verwendung
  - der reduzierten Durchlaufzeiten durch den ausgewählten Teilprozeß (100.7),
  - der tatsächlichen Durchlaufzeiten der Stichprobe durch die übrigen Teilprozesse
  - und der Reihenfolge,
- Ermitteln eines Termintreuegrads (410) des Fertigungsprozesses als Anteil derjenigen Stichprobenelemente an der gesamten Stichprobe, deren Durchlaufzeit kleiner oder gleich der Soll-Durchlaufzeit (240.1, 240.2, 240.3) durch den Fertigungsprozeß ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß

- eine Termintreuegrad-Funktion (300.3) ermittelt wird, die den Termintreuegrad als Funktion (300.3) der Soll-Durchlaufzeit angibt, wobei bei der Ermittlung das Verfahren auf verschiedene Soll-Durchlaufzeiten angewendet wird,
- und eine Soll-Durchlaufzeit (240.3) und ein Termintreuegrad (230.2) durch Auswahl eines Arbeitspunkts (400.3) der Termintreuegrad-Funktion (300.3) bestimmt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2,

d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,

daß als Arbeitspunkt (400.3) ein Punkt ausgewählt wird, in dem die Steigung einer Kurve der Termintreuegrad-Funktion (300.3) annähernd 45 Grad beträgt.

- 5 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß

- eine untere Schranke (230.1) für den Termintreuegrad des Fertigungsprozesses vorgegeben ist,
- 10 - das Verfahren auf verschiedene Soll-Durchlaufzeiten angewendet wird
- und ermittelt wird, welche dieser Soll-Durchlaufzeiten zu Termintreuegraden größer oder gleich der unteren Schranke (230.1) führen.

15

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß

- 20 - der Durchschnitt der Durchlaufzeiten durch den Fertigungsprozeß ermittelt wird
- und eine durchschnittliche Lagerungs-Zeitspanne (250.1, 250.2) als Differenz zwischen der Soll-Durchlaufzeit (240.1, 240.2, 240.3) und der durchschnittlichen Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß
- 25 ermittelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß



- die durch den Fertigungsprozeß durchschnittlich zu produzierende Anzahl an Exemplaren des technischen Produkts vorgegeben ist
- 5      - und der durchschnittliche Lagerbestand an Exemplaren in Abhängigkeit von der durchschnittlich zu produzierenden Anzahl und von der ermittelten durchschnittlichen Lagerungs-Zeitspanne ermittelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,  
10      d a d u r c h      g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß eine Lagerungs-Zeitspannen-Funktion (300.4) ermittelt wird, die die durchschnittliche Lagerungs-Zeitspanne als Funktion der Soll-Durchlaufzeit angibt,  
wobei bei der Ermittlung das Verfahren nach Anspruch 6  
15      auf verschiedene Soll-Durchlaufzeiten angewendet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder Anspruch 7,  
d a d u r c h      g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß eine Lagerbestands-Funktion (300.5) ermittelt wird,  
20      die den durchschnittlichen Lagerbestand als Funktion der Soll-Durchlaufzeit angibt,  
wobei bei der Ermittlung das Verfahren nach Anspruch 6 auf verschiedene Soll-Durchlaufzeiten angewendet wird.

25      9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
d a d u r c h      g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß  
- eine obere Schranke (250.1) für die durchschnittliche Lagerungs-Zeitspanne vorgegeben ist  
30      - und durch Variieren der Soll-Durchlaufzeit ermittelt wird, welche Soll-Durchlaufzeiten (240.1, 240.2,

240.3) zu Lagerungs-Zeitspannen kleiner oder gleich der oberen Schranke (250.1) führen.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,

5        d a d u r c h        g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß ein Verkürzungsfaktor, der kleiner als 1 ist, für die Durchlaufzeit durch den ausgewählten Teilprozeß (100.7) ermittelt wird,  
10        und die reduzierten Durchlaufzeiten als Produkt aus Verkürzungsfaktor und tatsächlichen Durchlaufzeiten der Stichprobenelemente durch den ausgewählten Teilprozeß (100.7) bestimmt werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,

15        d a d u r c h        g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß ein Verkürzungsfaktor, der kleiner als 1 ist, für die Durchlaufzeit durch den ausgewählten Teilprozeß (100.7) vorgegeben ist  
20        und die Maximal-Durchlaufzeit als Produkt aus Verkürzungsfaktor und maximaler tatsächlicher Durchlaufzeit durch den ausgewählten Teilprozeß (100.7) unter den Stichprobenelementen bestimmt wird.

12. Vorrichtung zur Ermittlung von Auswirkungen von Durch-

25        laufzeit-Begrenzungen für Teilprozesse eines wiederholbaren Fertigungsprozesses für unterscheidbare Exemplare eines technischen Produkts,  
die folgende Bestandteile umfaßt:  
30        - eine Einrichtung zum Erfassen einer Reihenfolge, in der die Teilprozesse (100.1, 100.2, ...) ausgeführt werden,

- eine Einrichtung zum Festlegen einer Soll-Durchlaufzeit (240.3) durch den Fertigungsprozeß,
  - eine Einrichtung zum Festlegen einer Maximal-Durchlaufzeit (240.3) durch mindestens einen ersten Teilprozeß (100.7),
  - eine Einrichtung zum Ermitteln einer Stichprobe für den Fertigungsprozeß, welche die Durchlaufzeit durch jeden Teilprozeß für jedes Stichprobenelement umfaßt,
  - eine Einrichtung zum Reduzieren der Durchlaufzeiten durch den ersten Teilprozeß (100.7) bei allen Stichprobenelementen auf einen Wert kleiner oder gleich der oberen Schranke,
  - eine Einrichtung zum Ermitteln der Durchlaufzeiten durch den Fertigungsprozeß für die Stichprobe unter Verwendung der reduzierten Durchlaufzeiten für den ersten Teilprozeß (100.7), den tatsächlichen Durchlaufzeiten für die übrigen Teilprozesse und der Reihenfolge,
  - eine Einrichtung zum Ermitteln eines Termintreuegrads als Anteil derjenigen Stichprobenelemente, deren Durchlaufzeit kleiner oder gleich der Soll-Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß ist, an der gesamten Stichprobe.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12,
- d a d u r c h     g e k e n n z e i c h n e t ,
- daß die Vorrichtung
- eine Einrichtung zum Ermitteln der durchschnittlichen Durchlaufzeit durch den Fertigungsprozeß
  - und eine Einrichtung zum Ermitteln einer durchschnittlichen Lagerungs-Zeitspanne als Differenz zwischen der Soll-Durchlaufzeit (240.3) und der durchschnittlichen Durchlaufzeit

umfaßt.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder Anspruch 13,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

5        daß die Vorrichtung

- eine Einrichtung zur Ermittlung eine Termintreuegrad-Funktion (300.3), die den Termintreuegrad als Funktion (300.3) der Soll-Durchlaufzeit angibt, durch Variierung der Soll-Durchlaufzeit

10        - und eine Einrichtung zur Erzeugung einer graphischen Darstellung der Termintreuegrad-Funktion (300.3)

umfaßt.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14,

15        d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die Vorrichtung

- eine Einrichtung zur Festlegung mehrerer Kombinationen (Komb\_11, Komb\_12, ...) von Maximal-Durchlaufzeiten für Teilprozesse umfaßt, wobei jede Kombination mindestens eine obere Schranke für die Durchlaufzeit durch einen Teilprozeß umfaßt,

20

- und eine Einrichtung zur Erzeugung je einer graphischen Darstellung der Termintreuegrad-Funktion (300.3) für jede festgelegte Kombination

25        umfaßt.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

daß die Vorrichtung

- eine Einrichtung zur Ermittlung einer Lagerungs-Zeitspannen-Funktion (300.4) für jede festgelegte Kombination, die die durchschnittliche Lagerungs-Zeitspanne als Funktion der Soll-Durchlaufzeit bei dieser Kombination angibt, durch Variierung der Soll-Durchlaufzeit
  - und eine Einrichtung zur Erzeugung einer graphischen Darstellung der Lagerungs-Zeitspannen-Funktionen (300.4) für die Kombinationen
- umfaßt.

17. Computerprogramm-Produkt, das direkt in den internen Speicher eines Computers geladen werden kann und Softwareabschnitte umfaßt, mit denen ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 ausgeführt werden kann, wenn das Produkt auf einem Computer läuft.
18. Computerprogramm-Produkt, das auf einem von einem Computer lesbaren Medium gespeichert ist und das von einem Computer lesbare Programm-Mittel aufweist, die den Computer veranlassen, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen.

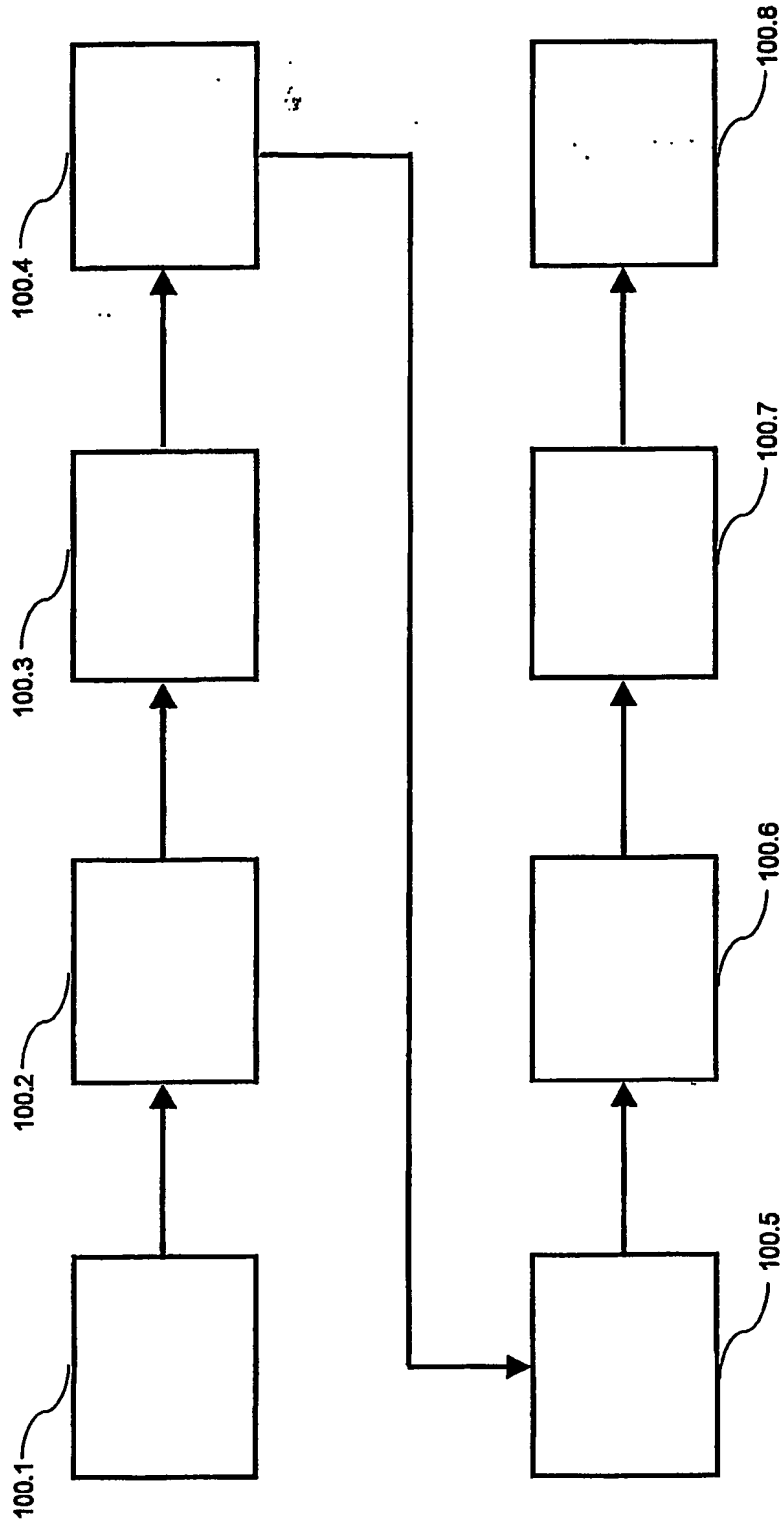


Fig. 1

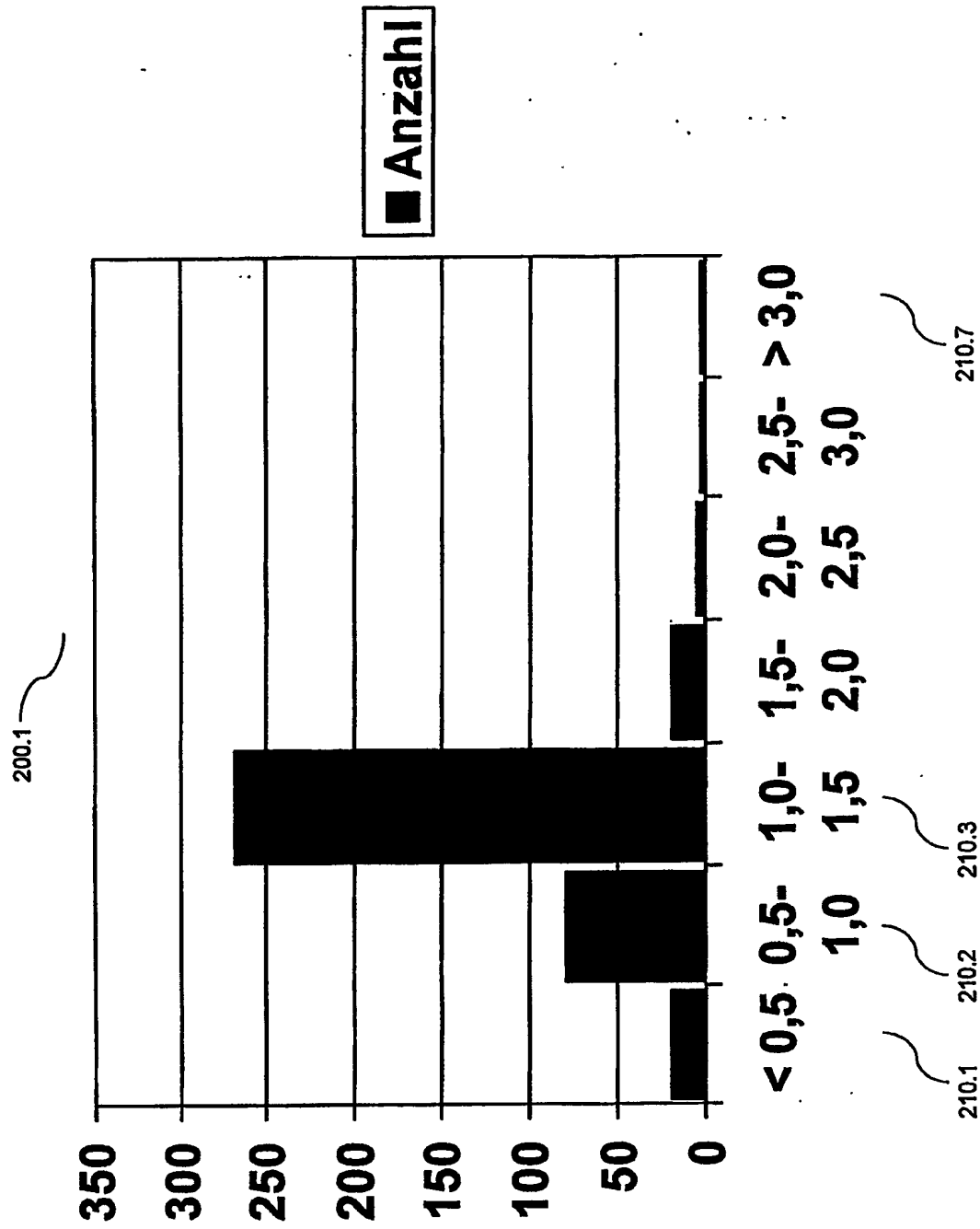


Fig. 2

P801005  
mgr / 22.10.02  
3 / 10

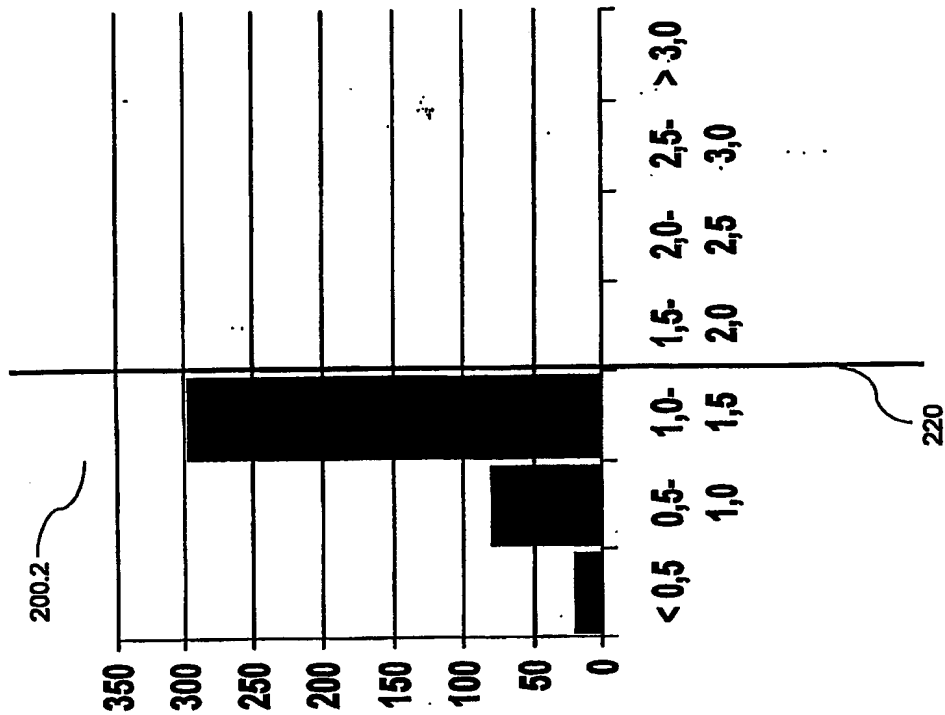
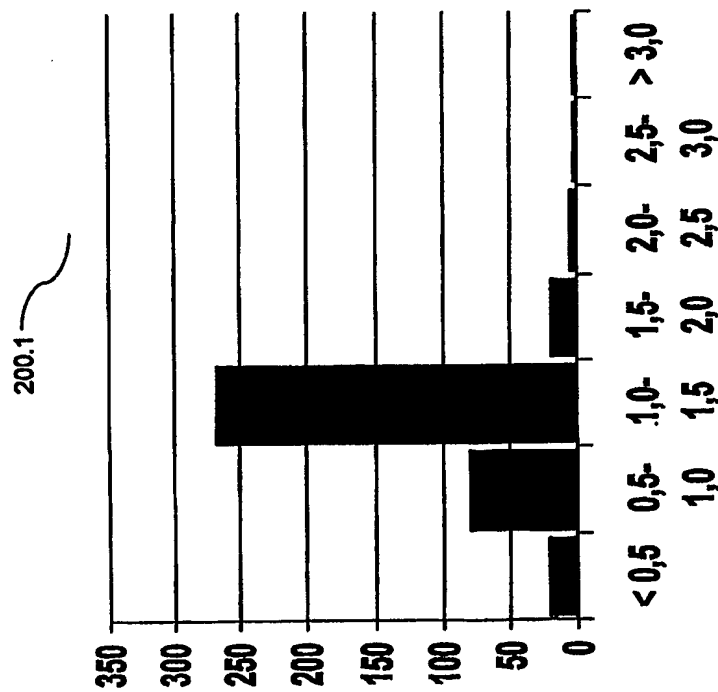


Fig. 3



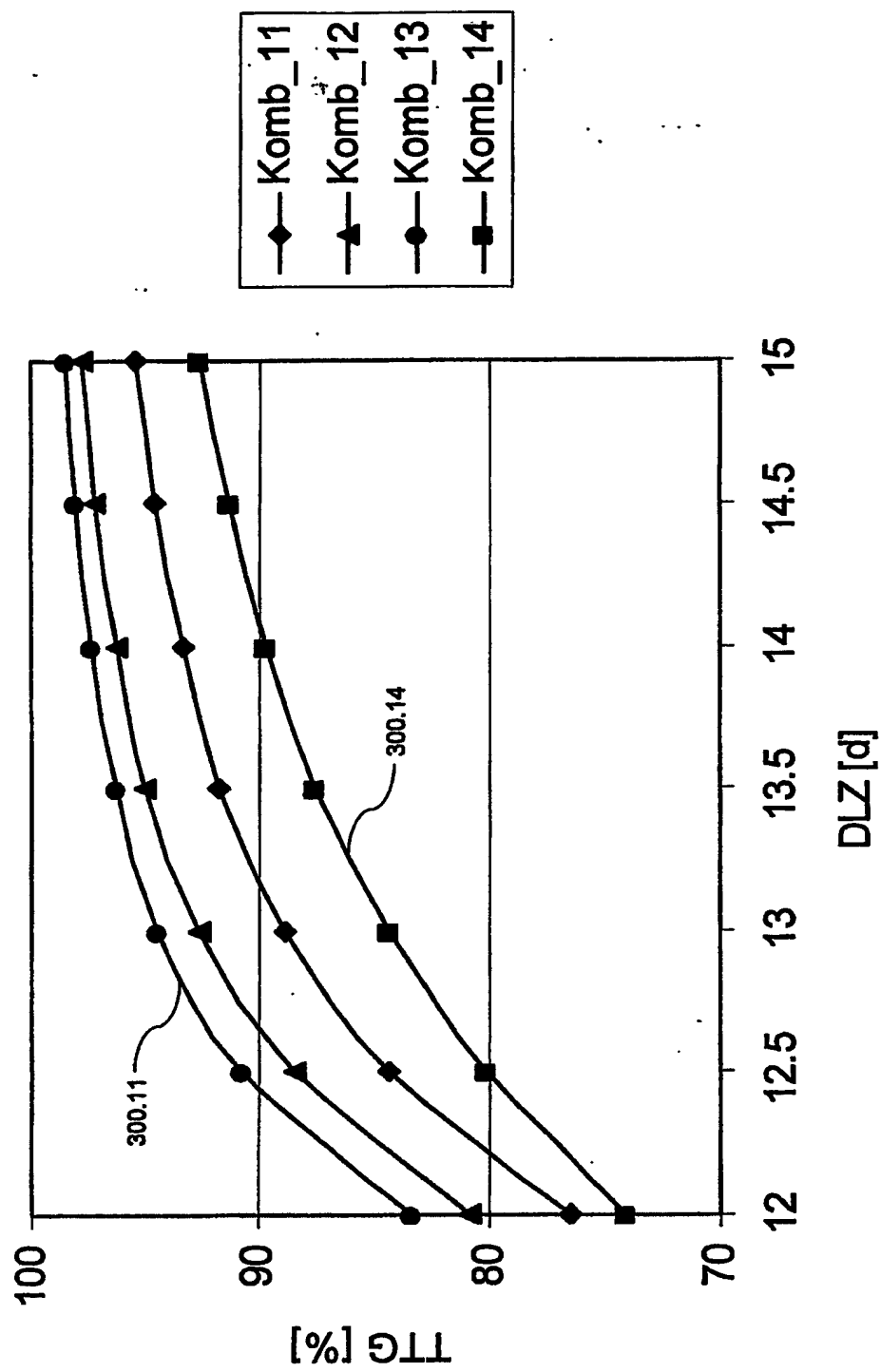


Fig. 4

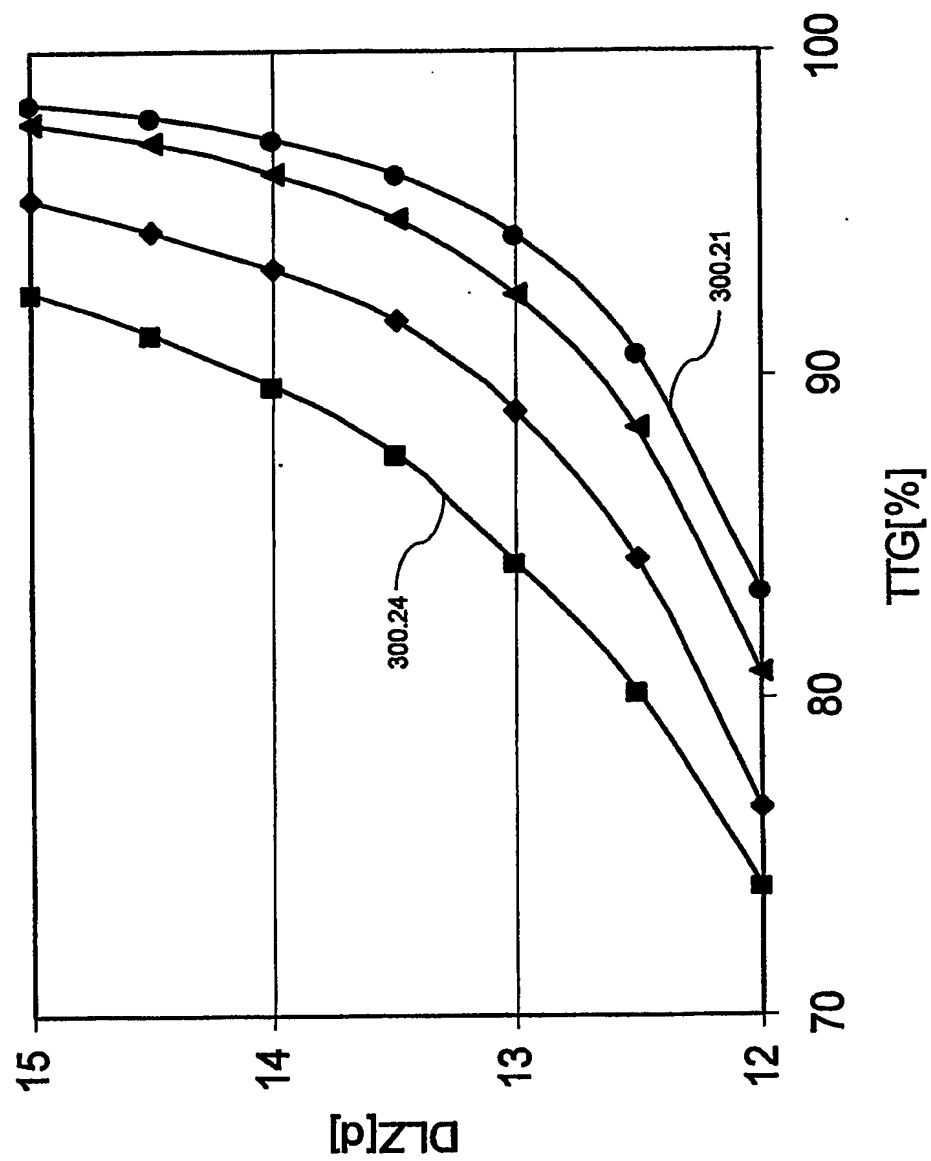


Fig. 5

P801005  
mgr / 22.10.02  
6 / 10

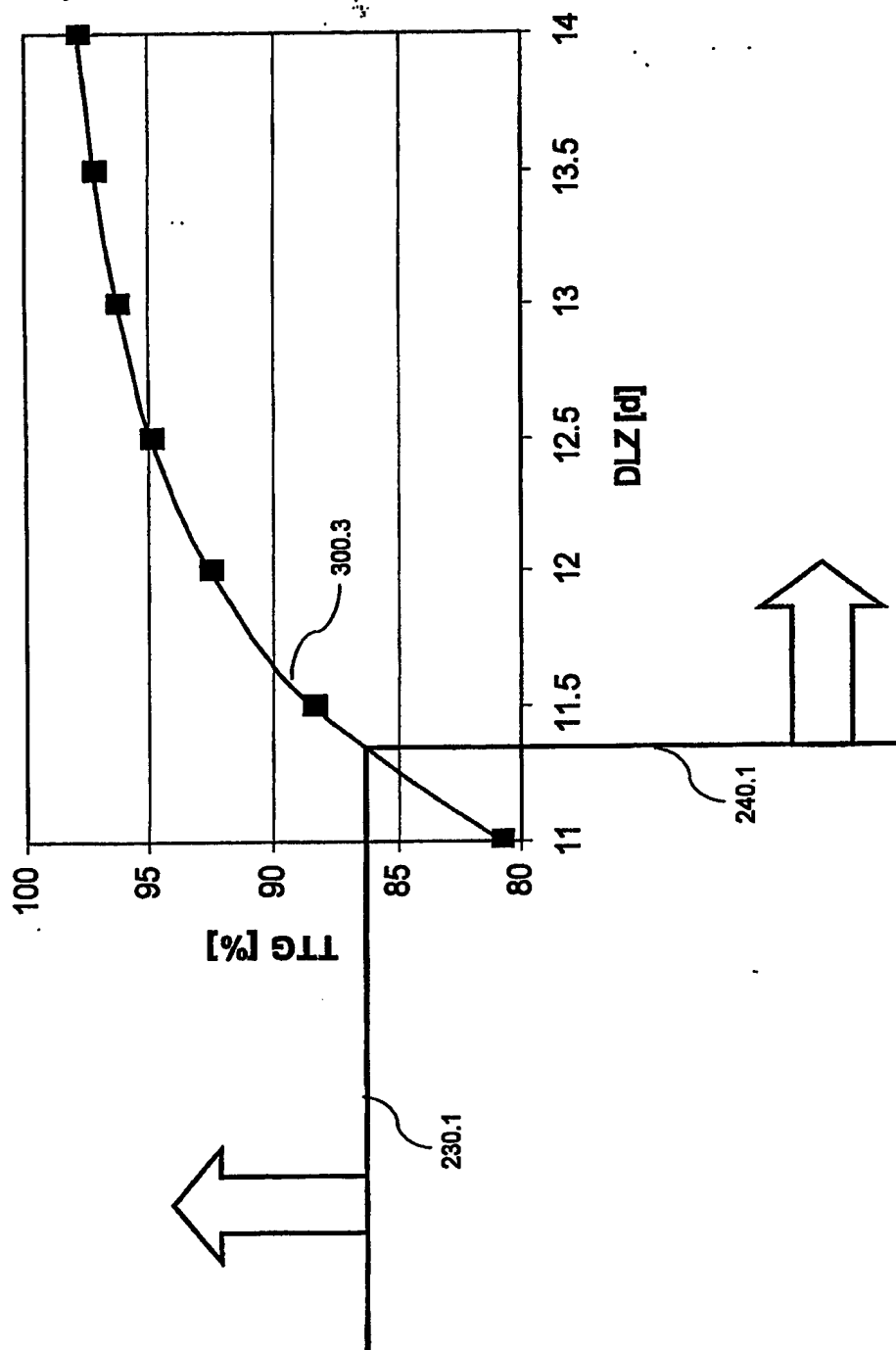


Fig. 6

P801005  
mgr / 22.10.02  
7 / 10

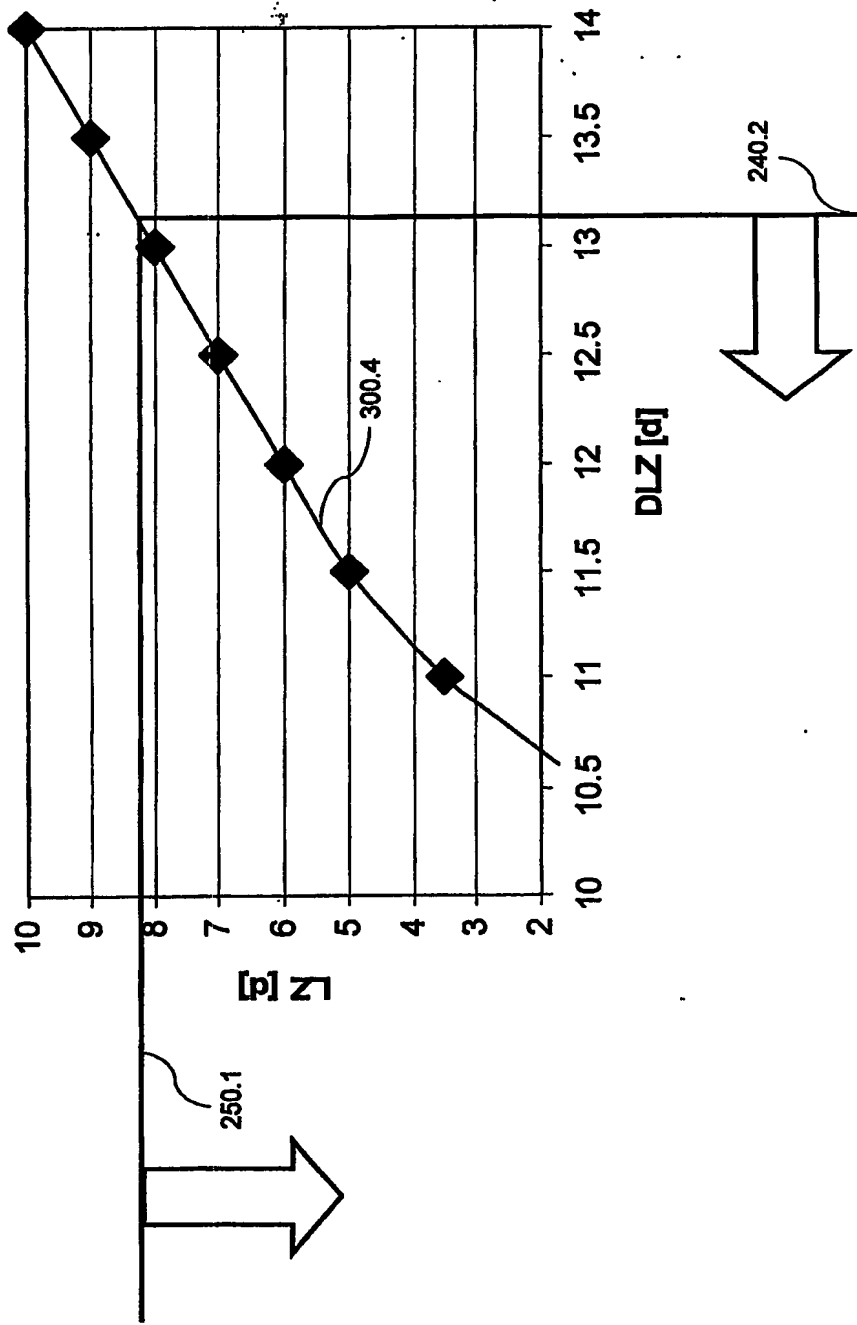


Fig. 7

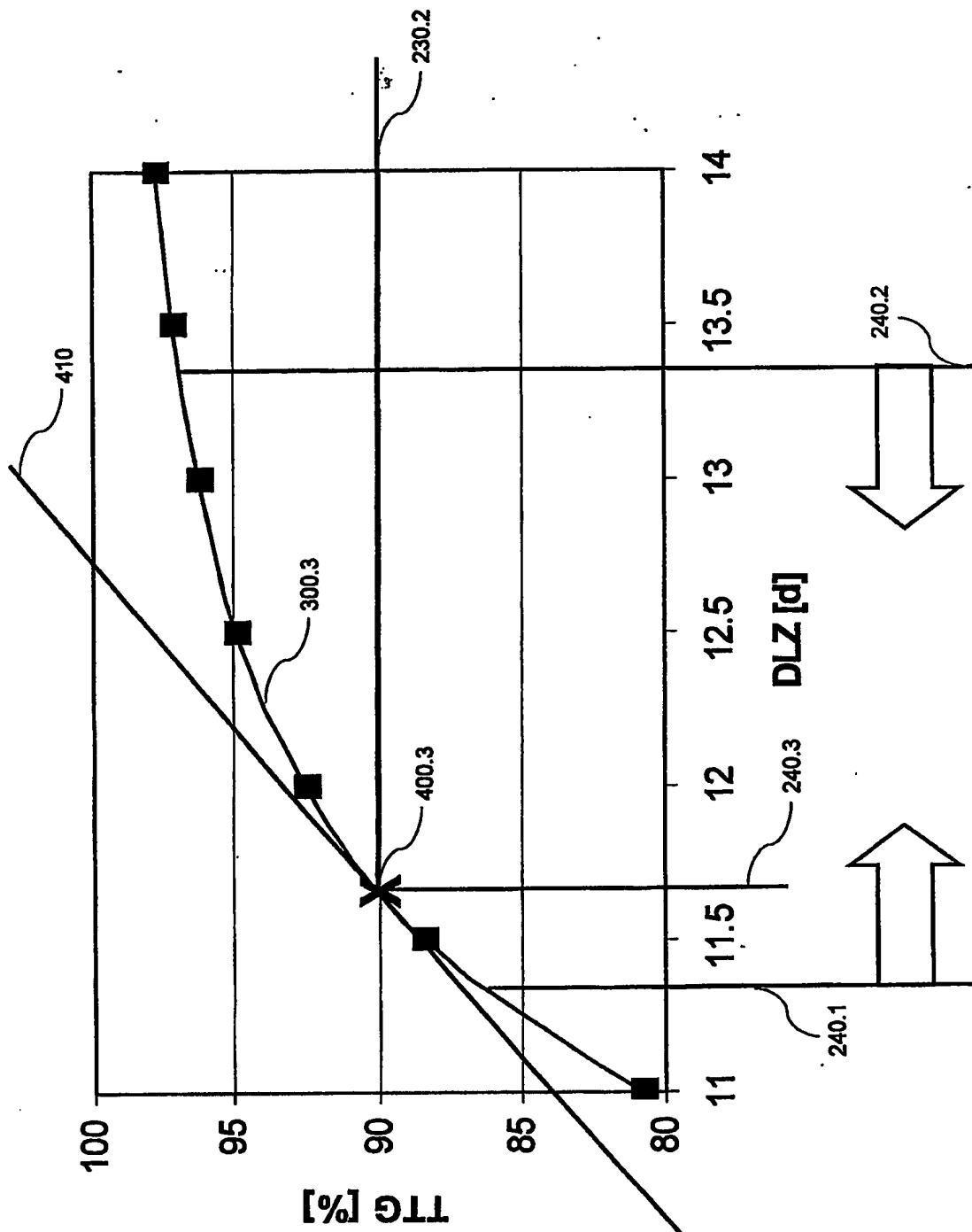


Fig. 8

P801005  
mgr / 22.10.02  
9 / 10

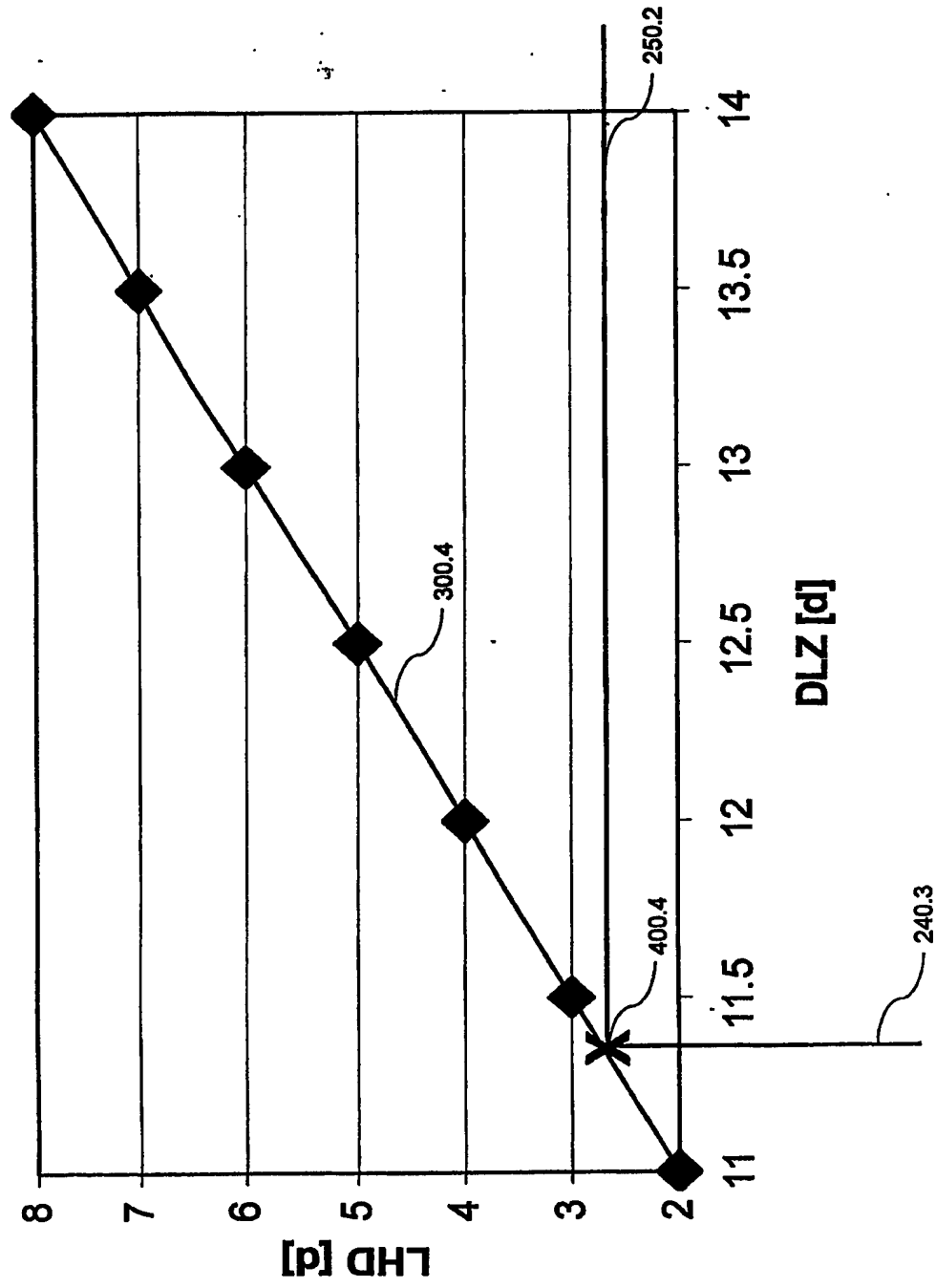


Fig. 9

P801005  
mgr / 22.10.02  
10 / 10

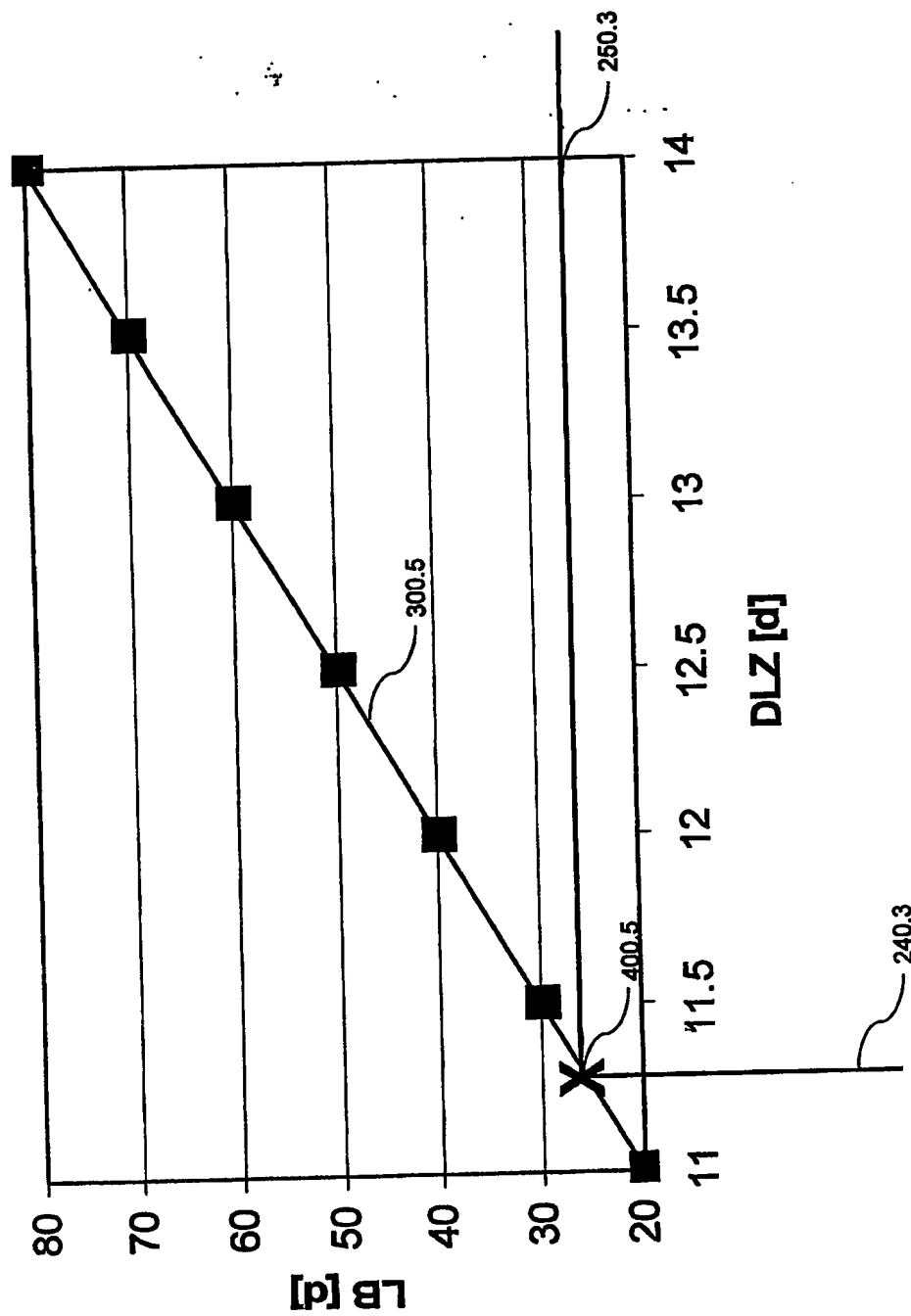


Fig. 10

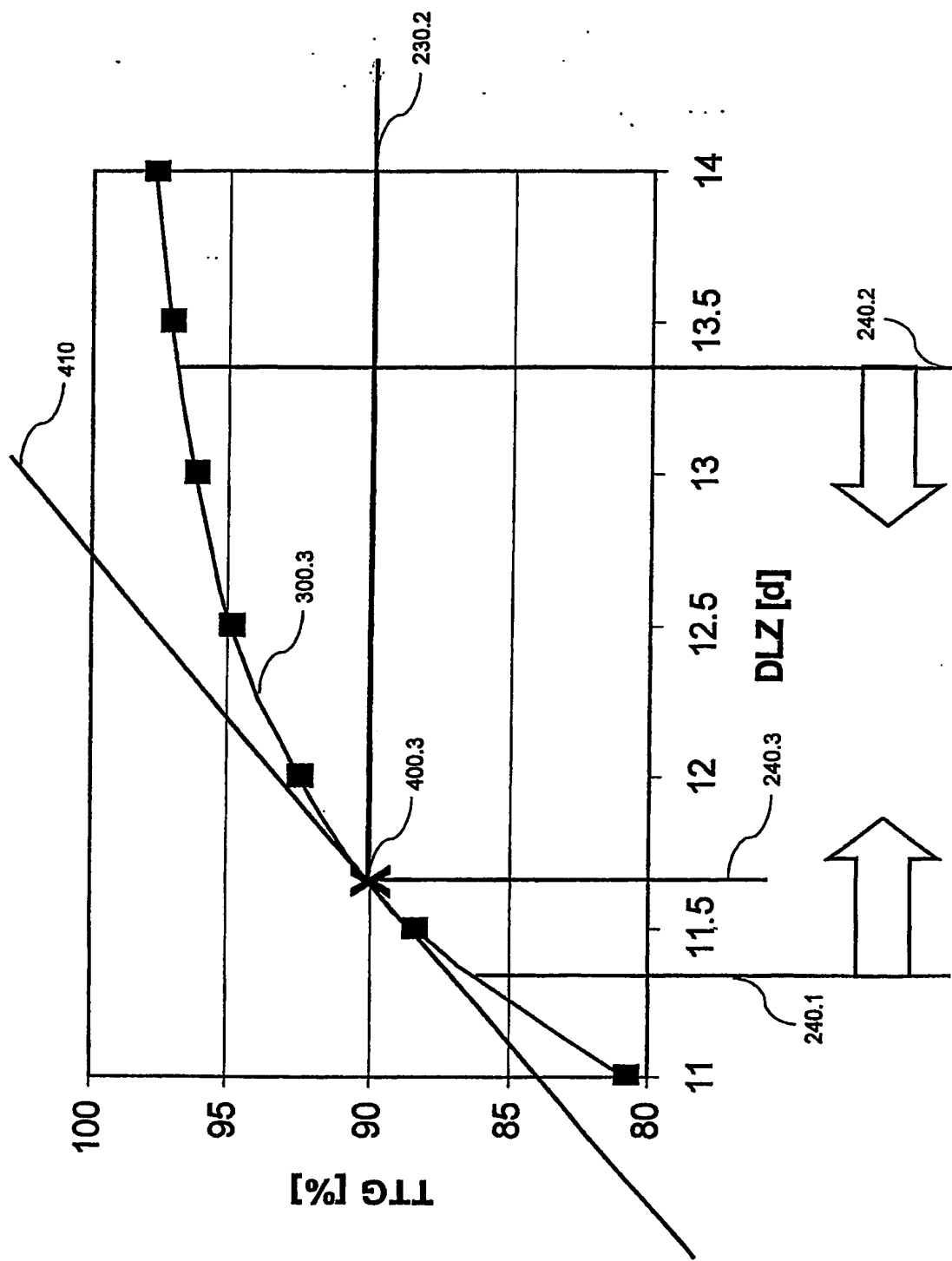


Fig. 8



DaimlerChrysler AG

Meyer-Gramann

23.10.2002

Zusammenfassung

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren, eine Vorrichtung und ein Computerprogramm-Produkt zur Ermittlung von Auswirkungen, die Durchlaufzeit-Begrenzungen für Teilprozesse eines Fertigungsprozesses auf Qualitätsparameter des Fertigungsprozesses haben. Für mindestens einen Teilprozeß eines seriellen Fertigungsprozesses wird eine Beschränkung (240.2) der Soll-Durchlaufzeit vorgegeben, außerdem wird eine Soll-Durchlaufzeit durch den gesamten Fertigungsprozeß vorgegeben. Die Erfindung lehrt, wie mit Hilfe einer Stichprobe zwei Kennziffern des Fertigungsprozesses automatisch bestimmt werden, die aus der Durchlaufzeit-Begrenzung für den mindestens einen Teilprozeß resultieren: der Termintreuegrad (TTG) und die durchschnittliche Lagerungs-Zeitspanne. Letztere ist bei konstantem Durchsatz proportional zum durchschnittlichen Lagerbestand mit fertiggestellten Produkten. Das Verfahren läßt sich insbesondere dazu verwenden, die Auswirkungen von unterschiedlichen Durchlaufzeit-Beschränkungen für verschiedene Teilprozesse vorab zu erproben.

(Fig. 8)